

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Janjiš

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Dorian Marjanović, dipl. ing.

Student:

Ivan Janjiš

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr. sc. Dorianu Marjanoviću na ukazanom povjerenju, strpljenju i pomoći tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem se svojim roditeljima što su mi omogućili sve što sam do sada postigao.

Ivan Janjiš



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

| | |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

SADRŽAJ

| | |
|---|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | V |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE | VI |
| POPIS OZNAKA | VII |
| SAŽETAK..... | X |
| SUMMARY | XI |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. STAKLENO PROČELJE..... | 2 |
| 2.1. Industrijsko staklo | 2 |
| 2.1.1. Industrijsko staklo za staklena pročelja | 4 |
| 2.2. Strukturalni panel pročelja | 7 |
| 2.2.1. Dvostruki strukturalni panel..... | 8 |
| 2.3. Vrste staklenih pročelja..... | 9 |
| 3. ČIŠĆENJE STAKLENOG PROČELJA | 12 |
| 3.1. Nečistoće na staklenom pročelju..... | 12 |
| 3.2. Metode čišćenja staklenih pročelja | 15 |
| 3.2.1. Ručno (manualno) čišćenje | 15 |
| 3.2.2. Poluautomatsko čišćenje | 16 |
| 3.2.3. Automatsko čišćenje | 17 |
| 3.3. Tehnologije čišćenja | 18 |
| 3.3.1. Čišćenje kemijskim sredstvima i vodom | 19 |
| 3.3.2. Čišćenje sustavima reverzne osmoze..... | 19 |
| 3.4. Smjernice i standardi za čišćenje staklenih pročelja | 20 |
| 4. ANALIZA TRŽIŠTA | 22 |
| 4.1. Svjetsko tržište staklenih površina | 22 |
| 4.2. Europsko tržište staklenih površina | 22 |
| 4.3. Tržište staklenih pročelja | 23 |
| 4.4. Troškovi čišćenja staklenih pročelja | 23 |
| 4.5. Uređaji za čišćenje staklenih pročelja | 24 |
| 4.5.1. Uređaji za ručno čišćenje | 24 |
| 4.5.2. Poluautomatizirani uređaji za čišćenje..... | 24 |
| 4.5.3. Automatizirani uređaji za čišćenje..... | 25 |
| 4.6. Proizvođači uređaja za čišćenje staklenih pročelja | 26 |
| 5. DEFINIRANJE PROJEKTOG ZADATAKA..... | 29 |
| 5.1. Funkcijska struktura | 30 |
| 5.2. Morfološka matrica | 31 |
| 5.3. Konceptualna rješenja | 33 |
| 5.3.1. Koncept 1 | 33 |
| 5.3.2. Koncept 2 | 36 |

| | | |
|----------|--|----|
| 5.3.3. | Koncept 3 | 39 |
| 5.3.4. | Evaluacija koncepata..... | 42 |
| 6. | KONSTRUKCIJSKA RAZRADA ODABRANOG KONCEPTA..... | 44 |
| 6.1. | Proračun pogonskog mehanizma | 45 |
| 6.1.1. | Linearni pogon | 45 |
| 6.1.1.1. | Odabir kugličnog vretena..... | 47 |
| 6.1.1.2. | Proračun vijaka za pričvršćenje nosive konstrukcije linearnog pogona | 49 |
| 6.1.2. | Rotacijski pogon | 50 |
| 6.1.2.1. | Dimenzioniranje vratila | 50 |
| 6.1.2.2. | Proračun zavora glavine pogonskog mehanizma | 63 |
| 6.2. | Ostvarivanje kontakta sa površinom stakla..... | 68 |
| 6.2.1. | Odabir vakuumskih hvataljki | 68 |
| 6.2.2. | Određivanje potrebnog podtlaka vakuum pumpe | 71 |
| 6.2.3. | Odabir vakuum pumpe..... | 72 |
| 6.2.4. | Odabir perifernih uređaja | 73 |
| 6.2.4.1. | Odabir kompenzatora visine vakuumskih hvataljki..... | 75 |
| 6.2.4.2. | Odabir rotirajućih zglobnih mehanizama vakuumskih hvataljki | 75 |
| 6.2.4.3. | Odabir spojnih cijevi za stvaranje vakuuma | 76 |
| 6.3. | Čišćenje staklenih pročelja..... | 77 |
| 6.3.1. | Odabir generatora pare..... | 77 |
| 6.3.2. | Odabir spremnika vode | 79 |
| 6.3.3. | Odabir sustava za pročišćavanje vode | 80 |
| 6.3.4. | Odabir mlaznica vodene pare..... | 80 |
| 6.3.5. | Odabir gumenih brisača | 81 |
| 6.4. | Nosiva konstrukcija..... | 82 |
| 6.4.1. | Proračun kritičnog zavora | 82 |
| 6.4.2. | Proračun maksimalnog progiba | 84 |
| 6.5. | Odabir napajanja uređaja | 87 |
| 6.6. | Upravljanje, regulacija i sigurnost u radu | 89 |
| 6.7. | Izrada 3D modela odabranog koncepta..... | 90 |
| 7. | ZAKLJUČAK..... | 92 |
| | LITERATURA..... | 94 |
| | PRILOZI..... | 96 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 1. | Ostakljena pročelja visokih zgrada..... | 2 |
| Slika 2. | Proizvodnja stakla postupkom tečenja | 3 |
| Slika 3. | Toplinski izolirana stakla (low-E) | 5 |
| Slika 4. | Stakla za kontrolu solarnog zagrijavanja..... | 5 |
| Slika 5. | Laminirano staklo..... | 6 |
| Slika 6. | Zvučno izolacijsko staklo | 6 |
| Slika 7. | Samočistivo staklo..... | 7 |
| Slika 8. | Strukturalni panel | 7 |
| Slika 9. | Dijagram izolacijskih svojstava panela | 8 |
| Slika 10. | Prekinuti i neprekinuti dvostruki paneli | 9 |
| Slika 11. | Strukturalna staklena pročelja | 10 |
| Slika 12. | Polustrukturalna staklena pročelja..... | 10 |
| Slika 13. | Kontinuirana staklena pročelja..... | 11 |
| Slika 14. | Spider staklena pročelja..... | 11 |
| Slika 15. | Primjeri nečistoće od prašine – rendgenski snimak | 12 |
| Slika 16. | Primjeri nečistoća u obliku prljavština – rendgenski snimak..... | 13 |
| Slika 17. | Primjeri nečistoća od lipida – rendgenski snimak..... | 13 |
| Slika 18. | Renderiranje nečistoća za određivanje rasipanja..... | 14 |
| Slika 19. | Primjer različitih optičkih debljina slojeva, τ | 15 |
| Slika 20. | Ručna metoda čišćenja | 16 |
| Slika 21. | Poluautomatska metoda čišćenja | 17 |
| Slika 22. | Automatska metoda čišćenja | 18 |
| Slika 23. | Reverzna osmoza..... | 19 |
| Slika 24. | Proizvodnja ravnog stakla u svijetu..... | 22 |
| Slika 25. | Uređaji za ručno čišćenje | 24 |
| Slika 26. | Poluautomatizirani uređaji za čišćenje | 25 |
| Slika 27. | Automatizirani uređaji za čišćenje | 26 |
| Slika 28. | Ettore – uređaji za čišćenje staklenog pročelja | 27 |
| Slika 29. | Unger – uređaji za čišćenje staklenog pročelja | 27 |
| Slika 30. | Serbot – robotski čistač Gekko..... | 28 |
| Slika 31. | Funkcijska struktura | 31 |
| Slika 32. | Morfološka matrica | 32 |
| Slika 33. | Koncept 1 | 33 |
| Slika 34. | Koncept 1 – dizalica..... | 34 |
| Slika 35. | Koncept 2 | 36 |
| Slika 36. | Koncept 2 – sustav za pročišćavanje vode | 37 |
| Slika 37. | Koncept 2 - Dizalica..... | 37 |
| Slika 38. | Koncept 3 – gornji dio uređaja bez poklopca..... | 39 |
| Slika 39. | Koncept 3 - donji dio uređaja / mehanizam kretanja..... | 40 |
| Slika 40. | Opterećenje mehanizma za linearno gibanje..... | 45 |
| Slika 41. | Linearna jedinica THOMSON MF100..... | 47 |
| Slika 42. | Servo motor KOLLMORGEN AKM 41X..... | 47 |
| Slika 43. | Opterećenje vratila | 50 |
| Slika 44. | Presjeci idealnog oblika vratila | 52 |
| Slika 45. | Stupnjevano vratilo pogonskog mehanizma..... | 56 |
| Slika 46. | Konačni oblik vratila pogonskog mehanizma | 61 |
| Slika 47. | Servo motor BMH1002T..... | 63 |
| Slika 48. | Opterećenje zavora na glavini pogonskog mehanizma | 64 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 49. | Presjek zavora na glavini pogonskog mehanizma | 64 |
| Slika 50. | Vakuumska zdjelica ANVERFLEX OC32-150 | 69 |
| Slika 51. | Vakuumska zdjelica FIPA 470x60 | 70 |
| Slika 52. | Rotacijska vakuum pumpa INECO RV22 | 72 |
| Slika 53. | FESTO VTUB, prema [FESTO] | 73 |
| Slika 54. | FESTO VABM | 74 |
| Slika 55. | Kompenzator visine SALSA-330 | 75 |
| Slika 56. | ANVER SW38F-38M-G | 76 |
| Slika 57. | FESTO PAN-MF-10x1,25-SW | 76 |
| Slika 58. | CELLKRAFT E-3000 | 78 |
| Slika 59. | Spremnik vode T12NA-2BC | 79 |
| Slika 60. | Sustav pročišćavanja vode AAA-245P | 80 |
| Slika 61. | Mlaznica vodene pare LECHLER 540.909.16.CA | 81 |
| Slika 62. | Gumeni brisač | 81 |
| Slika 63. | Opterećenje zavora na nosivoj konstrukciji | 82 |
| Slika 64. | Presjek zavora nosive konstrukcije | 83 |
| Slika 65. | Prikaz mreže konačnih elemenata na bočnoj ploči | 86 |
| Slika 66. | Prikaz ukupnih naprezanja na bočnoj ploči – računalna metoda | 86 |
| Slika 67. | Prikaz progiba na bočnoj ploči – računalna metoda | 87 |
| Slika 68. | Baterija WB-LYP700AHA | 88 |
| Slika 69. | Senzor UM30 | 89 |
| Slika 70. | 3D model uređaja za čišćenje staklenih pročelja | 90 |
| Slika 71. | Prikaz 3D modela sa otvorenim poklopcem | 91 |
| Slika 72. | Prikaz uređaja s donje strane (prikaz pogonskog mehanizma) | 91 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Specifikacije kaljenog stakla, prema [25] | 4 |
| Tablica 2. Nečistoće na staklenom pročelju | 14 |
| Tablica 3. Cijena čišćenja zgrade sa staklenim pročeljem | 23 |
| Tablica 4. IPC Eagle – Proizvodi za čišćenje staklenih pročelja | 27 |
| Tablica 5. Specifikacije postojećih automatiziranih uređaja | 28 |
| Tablica 6. Glavne potrebe korisnika | 29 |
| Tablica 7. Evaluacija koncepata | 42 |
| Tablica 8. Karakteristike linearne jedinice sa kugličnim vretenom, prema [11] | 48 |
| Tablica 9. Specifikacije servo motora Kollmorgen AKM 41X, prema [12] | 48 |
| Tablica 10. Specifikacije elektromotora SCHNEIDER BMH1002T, prema [14] | 63 |
| Tablica 11. Specifikacije vakuumske zdjelice ANVERFLEX OC32-150, prema [15] | 69 |
| Tablica 12. Specifikacije vakuumske zdjelice FIPA 470x60, prema [16] | 70 |
| Tablica 13. Specifikacije vakuum pumpe INECO RV22, prema [17] | 73 |
| Tablica 14. Specifikacije FESTO VTUB, prema [18] | 74 |
| Tablica 15. Specifikacije FESTO VABM, prema [18] | 74 |
| Tablica 16. Specifikacije SALSA-330, prema [15] | 75 |
| Tablica 17. Specifikacije ANVER SW38F-38M-G, prema [15] | 76 |
| Tablica 18. Specifikacije FESTO PAN-MF-10x1,25-SW, prema [18] | 77 |
| Tablica 19. Specifikacije CELLKRAFT E-3000, prema [19] | 78 |
| Tablica 20. Specifikacije T12NA-2BC, prema [20] | 79 |
| Tablica 21. Specifikacije AMI AAA-245P, prema [21] | 80 |
| Tablica 22. Specifikacije LECHLER 540.909.16.CA, prema [22] | 81 |
| Tablica 23. Specifikacije WB-LYP700AHA, prema [23] | 88 |
| Tablica 24. Specifikacije senzora UM30, prema [24] | 89 |

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

| BROJ CRTEŽA | Naziv iz sastavnice |
|--------------|---|
| IJ-11/15-001 | Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja–poklopac zatvoren Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja–poklopac otvoren |
| IJ-11/15-002 | Linearni pogonski mehanizam |
| IJ-11/15-003 | Nosiva konstrukcija linearnog pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-004 | Nosiva konstrukcija |
| IJ-11/15-005 | Vratilo |
| IJ-11/15-006 | Glavina linearnog pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-007 | Glavina vratila |
| IJ-11/15-008 | Glavina elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-009 | Nosač pokretnih vakuumskih hvataljki |
| IJ-11/15-010 | Nosač linearnog pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-011 | Nosiva ploča |
| IJ-11/15-012 | Bočna ploča – vertikalna |
| IJ-11/15-013 | Bočna ploča – horizontalna |
| IJ-11/15-014 | Poklopac |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|-------------|-------------------|---|
| a | mm | Udaljenost reakcijske sile u osloncu A od oslonca B |
| A_j | mm ² | Površina presjeka jezgre vijka |
| A_{VZ} | mm ² | Površina vakuumske zdjelice |
| A_z | mm ² | Površina presjeka zavora |
| b | mm | Udaljenost sile težine pogonskog mehanizma od oslonca B |
| b_1 | | Faktor veličine |
| b_2 | | Faktor kvalitete površine |
| C | N | Dinamička nosivost ležaja |
| d | mm | Promjer vratila na određenom presjeku |
| d_v | mm | Nazivni promjer vijka |
| D_z | mm | Vanjski promjer presjeka zavora |
| d_z | mm | Unutarnji promjer presjeka vratila |
| E | N/mm ² | Modul elastičnosti |
| F | N | Sila na promatranom presjeku |
| f | mm | Progib bočne ploče |
| F_A | N | Sila u osloncu A |
| F_a | N | Aksijalna sila koja opterećuje ležaj |
| $F_{a,z}$ | N | Aksijalna sila koja tlačno opterećuje presjek zavora |
| F_{aks} | N | Aksijalna sila potrebna za pogon linearnog mehanizma |
| F_{Bh} | N | Horizontalna sila u osloncu B |
| F_{Bv} | N | Vertikalna sila u osloncu B |
| F_{max} | N | Maksimalna sila na vijku |
| f_{max} | mm | Maksimalni progib bočne ploče |
| F_N | N | Normalna sila na podlogu |
| F_r | N | Radikalna sila koja opterećuje ležaj |
| F_{tr} | N | Sila trenja na podlozi |
| F_{tr1} | N | Sila trenja na nepokretnim vakuumskim hvataljkama na nosivoj konstrukciji |
| F_{tr2} | N | Sila trenja na pokretnim vakuumskim hvataljkama |
| F_v | N | Sila u vretenu |
| g | m/s ² | Ubrzanje zemljine sile teže |
| G_{pog} | N | Težina pogonskog mehanizma |
| G_{pret} | N | Pretpostavljena težina uređaja |
| h_{pp} | kJ/kg | Entalpija pregrijane pare |
| h_{pv} | kJ/kg | Entalpija pothlađene vode |
| $I(x,y)$ | dpi | Rezolucija slike promatranog stakla |
| I_{bp} | mm ⁴ | Moment tromosti bočne ploče |
| $I_{čisto}$ | dpi | Rezolucija slike čistog dijela stakla |

| | | |
|-------------|-------------------|---|
| I_v | N | Impuls sile stvoren vakuumom |
| l_1 | mm | Udaljenost između sile težine uređaja i pokretnih hvataljki |
| l_2 | mm | Udaljenost između sile trenja nepokretnih hvataljki i pokretnih hvataljki |
| l_{bp} | mm | Duljina bočne ploče |
| M | Nm | Moment savijanja promatranog presjeka |
| m_{LP} | kg | Masa linearnog pogona |
| m_{NKLP} | kg | Masa nosive konstrukcije linearnog pogona |
| m_{pret} | kg | Pretpostavljena masa uređaja |
| M_{red} | Nm | Reducirani moment |
| $M_{s,z}$ | Nm | Moment savijanja koji opterećuje presjek zavora |
| m_{SMLP} | kg | Masa servo motora linearnog pogona |
| M_x | Nm | Moment savijanja na promatranom presjeku |
| n | s ⁻¹ | Pretpostavljeni broj okretaja |
| n_v | | Broj vijaka |
| n_{VZ} | | Broj vakuumskih zdjelica |
| $n_{VZ,np}$ | | Broj nepokretnih vakuumskih zdjelica |
| $n_{VZ,p}$ | | Broj pokretnih vakuumskih zdjelica |
| P | N | Ekvivalentno opterećenje ležaja |
| $p_{čiš}$ | bar | Tlak čišćenja |
| P_{EM} | W | Potrebna snaga elektromotora |
| $P_{EM,L}$ | W | Snaga potrebna za pogon elektromotora linearnog pogona |
| $P_{EM,R}$ | W | Snaga potrebna za pogon elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma |
| P_{GP} | W | Snaga potrebna za pogon generatora pare |
| P_O | W | Snaga potrebna za pogon ostalih uređaja |
| p_{pp} | bar | Tlak pregrijane pare |
| p_{pv} | bar | Tlak pothladene vode |
| P_{rot} | W | Snaga potrebna za rotaciju pogonskog mehanizma |
| P_{uk} | W | Ukupna snaga potrebna za pogon uređaja |
| p_v | bar | Podtlak potreban za generiranje vakuuma |
| P_{VP} | W | Snaga potreban za pogon vakuum pumpe |
| p_{vp} | bar | Podtlak vakuum pumpe |
| q_{mp} | kg/s | Maseni protok pare |
| q_{mv} | kg/s | Maseni protok vode |
| R_e | N/mm ² | Granica tečenja |
| R_m | N/mm ² | Vlačna čvrstoća |
| s | mm | Krak sile težine pogonskog mehanizma |
| S_{post} | | Postojeća sigurnost |
| S_{potr} | | Potrebna sigurnost |
| T | Nm | Moment uvijanja koji opterećuje promatrani presjek |

| | | |
|-------------------|-------------------|---|
| T_z | Nm | Moment uvijanja koji opterećuje presjek zavora |
| $V_{\text{čiš}}$ | m/s | Pretpostavljena brzina čišćenja |
| W | mm ³ | Aksijalni moment otpora pojedinog presjeka vratila |
| $W_{t,z}$ | mm ³ | Torzijski moment otpora presjeka zavora |
| $W_{x,z}$ | mm ³ | Aksijalni moment otpora presjeka zavora |
| x | mm | Krak sile na promatranom presjeku |
| y | | Aksijalni faktor ležaja |
| α_0 | | Faktor čvrstoće materijala vratila obzirom na način njegova opterećenja |
| β_{kf} | | Faktor zareznog djelovanja kod savijanja |
| β_{kt} | | Faktor zareznog djelovanja kod uvijanja |
| μ | | Faktor trenja podloge |
| $\sigma_{dop,z}$ | N/mm ² | Dopušteno naprezanje presjeka zavora |
| σ_{fDN} | N/mm ² | Trajna dinamička čvrstoća na savijanje pri izmjeničnom opterećenju |
| σ_{fDNdop} | N/mm ² | Dopušteno savojno naprezanje |
| σ_{red} | N/mm ² | Reducirano naprezanje |
| $\sigma_{red,z}$ | N/mm ² | Reducirano naprezanje na presjeku zavora |
| $\sigma_{s,z}$ | N/mm ² | Naprezanje zavora na savijanje |
| $\sigma_{t,z}$ | N/mm ² | Tlačno naprezanje zavora |
| $\sigma_{uk,z}$ | N/mm ² | Ukupno normalno naprezanje na presjeku zavora |
| $\tau(x,y)$ | mm | Debljina sloja nečistoće |
| $\tau_{dop,v}$ | N/mm ² | Dopušteno smično naprezanje na vijku |
| $\tau_{s,v}$ | N/mm ² | Smično naprezanje vijka |
| $\tau_{s,z}$ | N/mm ² | Smično naprezanje zavora |
| $\tau_{t,z}$ | N/mm ² | Naprezanje zavora na uvijanje |
| τ_{tDI} | N/mm ² | Trajna dinamička čvrstoća na uvijanje pri izmjeničnom opterećenju |
| τ_{tdop} | N/mm ² | Dopušteno torzijsko naprezanje |
| $\tau_{uk,z}$ | N/mm ² | Ukupno tangencijalno naprezanje presjeka zavora |
| φ | | Faktor udara |
| ϕ_{pp} | kJ | Toplinski tok potreban za pregrijavanje pare |
| ω | rad/s | Kutna brzina definirana pretpostavljenim brojem okretaja |

SAŽETAK

U ovom radu dano je rješenje za razvoj uređaja za automatizirano čišćenje staklenih pročelja zgrada. U razvoju uređaja potrebno je osigurati produktivno čišćenje staklenih površina uz poštivanje sigurnosnih zahtijeva i ekoloških kriterija. Tijekom razvoja potrebno je uzeti u obzir djelotvornost čišćenja u različitim vremenskim uvjetima i gabaritima građevina. Potrebno je osigurati i odgovarajuće pozicioniranje i vođenje uređaja po cijelom pročelju građevine. U radu je provedena analiza tržišta te izrađena tehnička specifikacija uređaja. Nakon detaljne analize tržišta metodičkom razradom izrađena su konceptualna rješenja nakon kojih je odabrano jedno za detaljnu projektnu razradu. Odabrano projektno rješenje razrađeno je uz uporabu standardnih sklopova i dijelova te s potrebnim proračunima nestandardnih dijelova. Nakon razrade odabranog projektnog rješenja izrađen je 3D model uređaja i potrebna tehnička dokumentacija.

Ključne riječi: automatizirani uređaj za čišćenje, čišćenje staklenih pročelja, staklena pročelja

SUMMARY

In this paper a solution for automated building facades cleaning machine was given. In development of the machine, effective cleaning of glass surface, safety measures and ecological criteria had to be ensured. Cleaning in all types of weather and different building sizes also had to be ensured as do machine positioning and guiding on building glass facades. In the beginning of this paper, analysis of the market and technical specifications of the machine was provided. After detailed market analysis three conceptual solutions were given, which led to one solution being taken for further technical development. In development of the chosen conceptual solution, standard parts and assemblies were used and all nonstandard parts were designed with proper technical calculation. After development of all parts and assemblies of chosen conceptual solutions, a 3D model with proper technical documentation was given.

Key words: automated building facades cleaning machine, window cleaning machine, high rise cleaning

1. UVOD

Uporaba staklenih pročelja trend je koji se danas prati pri izgradnji novih građevina, posebno visokih poslovnih i stambenih zgrada. Razlog tome je veća estetska vrijednost same građevine, ali i energetska učinkovitost koja se postiže uporabom modernih stakala koja imaju vrlo povoljna izolacijska svojstva (toplinska, zvučna, svjetlosna, itd.). Dobra izolacijska svojstva modernih staklenih pročelja omogućena su novom konstrukcijom samog staklenog pročelja (dvostruki i trostruki strukturni panel) te nanošenjem odgovarajućih premaza na površinu stakla. Upravo ti premazi zahtijevaju poseban tretman održavanja odnosno čišćenja kako se ne bi oštetili i kako bi se očuvala njihova povoljna izolacijska svojstva. Građevine sa staklenim pročeljem danas se prema [7] moraju čistiti minimalno svakih 6 mjeseci, a ovisno o klimatskim uvjetima u kojima se građevina nalazi i češće. Čišćenje staklenih pročelja još se uvijek pretežito obavlja ručno gdje čovjek (čistač) pomoću platforme za održavanje građevine, dizalice ili ovješnog sjedala dolazi do svakog dijela staklenog pročelja i čisti ga. Ovakav način čišćenja poprilično je dugotrajan i skup te zahtjeva adekvatnu obuku za rad na visinama i korištenje odgovarajućih uređaja za čišćenje ljudi koji čiste. Sve veća visina građevina sa staklenim pročeljima otežava čišćenje samih pročelja (najviše vjetar) i povećava rizik od pada. Ti razlozi potakli su kroz zadnjih 10 godina razvoj poluautomatiziranih i automatiziranih uređaja za čišćenje pročelja koji bi trebali omogućiti sigurnost ljudi u čišćenju staklenih pročelja. Prednost korištenja ovakvih uređaja je osim sigurnosti i mogućnost korištenja čišćenja sustavom reverzne osmoze koji omogućuje čišćenje demineraliziranom vodom. Čišćenje ovakvim sustavom ne oštećuje površinu stakla (neovisno o vrsti premaza) i ekološki je vrlo prihvatljiv jer nije potrebno korištenje agresivnih sredstava za čišćenje. Danas postoji samo nekoliko automatiziranih uređaja za čišćenje staklenih pročelja koji većinom ostaju pričvršćeni za određenu građevinu koju čiste putem mobilne dizalice ili voznog vitla na koje je takav uređaj ovješan. U ovom radu pokušat će se konstruirati automatizirani uređaj za čišćenje pročelja koji će moći na jednostavan, brz i ekološki prihvatljiv način čistiti staklena pročelja građevina te koji će se na što jednostavniji način moći prenositi s jedne na drugu građevinu.

2. STAKLENO PROČELJE

Pročelja građevina predstavljaju zaštitni, energetske i estetski vrlo bitan dio građevina. odnosno strukturalnih panela koji se sastoji od aluminijskog okvira i dva ili više stakala između kojih struji zrak. Na takve strukturalne panele najčešće se nanose premazi radi bolje energetske učinkovitosti, boljih izolacijska svojstva (toplinska i zvučna izolacija), odbijanja zračenja, prevelike količine svjetla i sl. Osim dobrih izolacijskih svojstava, staklene fasade zbog svoje transparentnosti omogućuju nesmetan prolaz svjetlosti, a time i zdravo radno okruženje. Staklena pročelja zbog svoje male mase (u odnosu na betonska, kamena i druga pročelja) idealna su za izgradnju visokih zgrada i drugih građevina što se može vidjeti u stvarnosti (Capital Gate, Abu Dhabi, The PTT HQ., Bangkok, The Sail Marina Bay, Singapore. [Slika 1]).



Capital Gate, Abu Dhabi.



The PTT HQ., Bangkok.



The Sail @ Marina Bay Singapore.

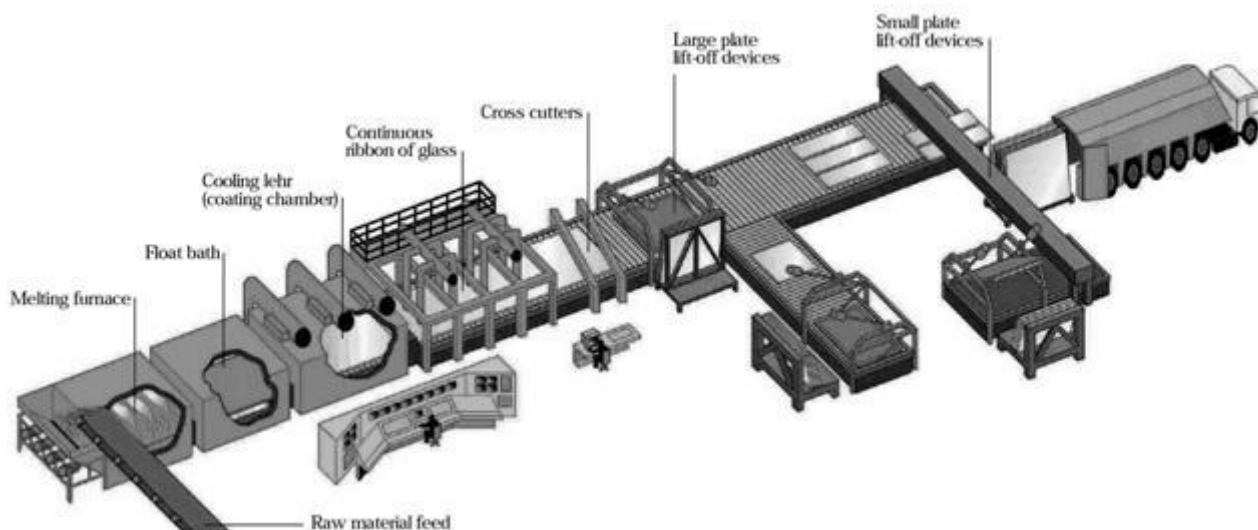
Slika 1. Ostakljena pročelja visokih zgrada

Energetska učinkovitost, a time i ekološka prihvatljivost te atraktivan i moderan izgled staklenih pročelja danas predstavljaju standard u arhitekturi i izgradnji novih poslovnih i stambenih građevina i smatra se da će taj trend u budućnosti još rasti.

2.1. Industrijsko staklo

Najvažniji dio staklenog pročelja je staklo. Za staklena pročelja isključivo se koristi industrijsko staklo odnosno ravno staklo (eng. *flat glass*). Ravna stakla proizvode se postupkom tečenja [Slika 2] gdje se tali smjesa kvarcnog pijeska (SiO_2), vapnenca (CaCO_3), sode (Na_2CO_3) i željeznih oksida nakon čega slijedi kositrena kupka iz koje se izvlače kontinuirane trake stakla.

Takav staklene trake potom se žare i valjaju radi povećanja čvrstoće i uklanjanja zaostalih naprezanja. Nakon hlađenja staklene trake režu se na standardne „jumbo“ panele (6 x 3,21 m) ili prema potrebama kupca.



Slika 2. Proizvodnja stakla postupkom tečenja

Industrijsko staklo danas se proizvodi u nekoliko različitih vrsta prema [4]:

- Žareno staklo – „zeleni“ izradak u procesu tečenja, koristi se za prozore, posude i sl.
- Očvrsnuto (kaljeno) staklo – žareno na 600 °C i naglo hlađeno, koristi se za vjetrobranska stakla automobila, prozore i klizna vrata.
- Laminirano staklo – 2 ili više slojeva stakla međusobno povezani polimernim međuslojem (najčešće PVB - polivinil-butiral, EVA - etil-vinil-acetat, PU – poliuretan). Laminirana stakla imaju odlična izolacijska i mehanička svojstva i najčešće se koriste za izradu staklenih fasada i vjetrobranskih stakala automobila.
- Premazom ojačana stakla – stakla na koja se nanose razni premazi za postizanje određenih svojstava (apsorpcija, refleksija, provođenje topline i svjetlosti, mehanička otpornost, otpornost koroziji i sl.). Moderna („high tech“) stakla najčešće su laminirana i na njih je nanoseno nekoliko premaza.
- Zrcalna stakla – stakla koja na jednoj strani imaju premaz od srebra, aluminijskog, zlata ili kroma čime se omogućuje zrcaljenje. Najčešće se koriste za izradu zrcala te dekorativnih predmeta.
- Rasterska stakla – stakla na koje se nakon izvlačenja iz peći valjcima nanosi reljef na površinu. Najčešće se koriste za unutrašnja uređenja građevina i dekorativne svrhe.

- Ekstra čista stakla – stakla sa manjim udjelom željeznih oksida kako bi se smanjila refleksija svjetla i time omogućilo što veći prolaz svjetla. Najčešće se koriste za solarne panele, a u novije vrijeme i za staklena pročelja i prozore.

2.1.1. *Industrijsko staklo za staklena pročelja*

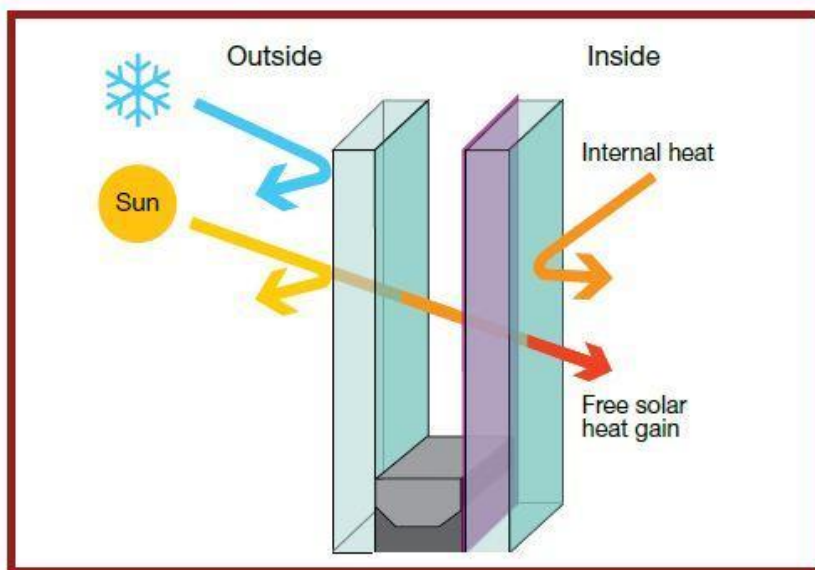
Stakla koja se danas koriste za staklena pročelja vrlo su napredna (eng. *high tech*) i složeniju strukturu. Stakla za pročelja građevina moraju zadovoljiti sva svojstva eksploatacije građevine, od osnovnih kao što su zaštita, sigurnost, propuštanje svjetla do specifičnih kao što su samo-čišćenje, mehanička otpornost, zvučna izolacija i sl. Glavna mehanička svojstva kaljenih stakala ojačanih premazima prikazuje tablica 1. Sva stakla sa izolacijskim premazima moraju zadovoljavati normu hEN 1096-4.

Tablica 1. Specifikacije kaljenog stakla, prema [25]

| Specifikacije | Kaljeno staklo |
|---|-------------------|
| Gustoća (g/cm^3) | 2,42 – 2,52 |
| Vlačna čvrstoća (N/mm^2) | 200 |
| Tlačna čvrstoća (N/mm^2) | 1000 |
| Modul elastičnosti (GPa) | 70 |
| Debljina stakla (mm) | 3 – 19 |
| Koeficijent linearne ekspanzije (m/mK) | $9 \cdot 10^{-6}$ |

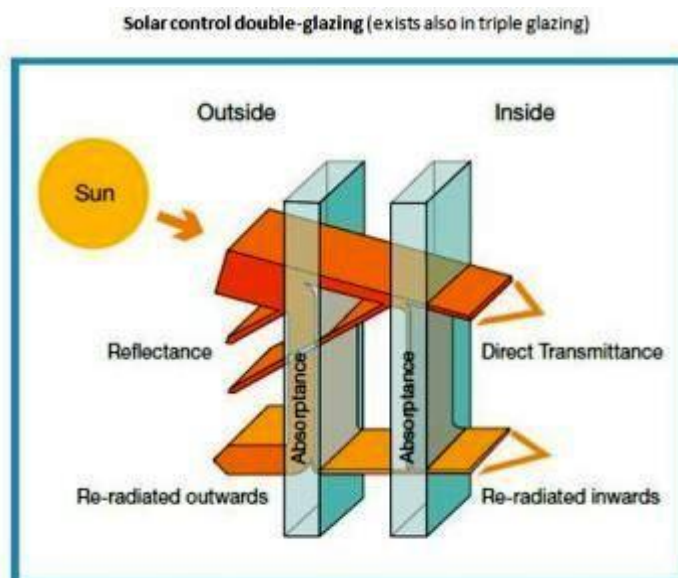
Stakla koja se koriste za pročelja građevina danas se prema [4] mogu naći u nekoliko varijanti, ovisno o svojstvima karakterističnim za lokaciju na kojoj se građevina nalazi:

- Toplinski izolirana stakla [Slika 3] – moderna toplinski izolirana stakla poznata su pod nazivom low-E stakla (eng. *low emissivity*) i najčešće se postavljaju kao unutarnje staklo unutar strukturalnog panela staklenog pročelja. Toplinski izolirana stakla imaju na jednoj strani metalni premaz koji odbija toplinu natrag u prostor i tako reducira gubitak topline te omogućuje veće prikupljanje sunčeve topline. Zbog svojih povoljnih svojstava ovaj tip stakla najčešće se primjenjuje za pročelja, a zbog povoljnih energetskih svojstava (solarna energija) i ekološki su vrlo prihvatljiva.



Slika 3. Toplinski izolirana stakla (low-E)

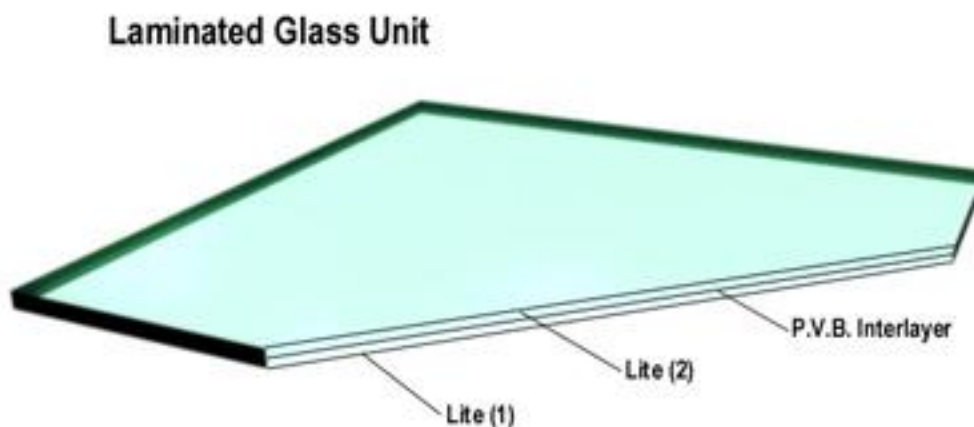
- Stakla za kontrolu solarnog zagrijavanja (eng. *solar control glass*) [Slika 4] – moderan tip stakla koji smanjuje i sprječava solarno zagrijavanje građevina. Smanjenje zagrijavanja postiže se tako što je jedna strana stakla zatamnjena ili je nanesen tanak, proziran premaz. Ovaj tip stakla energetski je vrlo povoljan jer se manjim zagrijavanjem od sunca smanjuje potreba za klimatizacijom prostora, a samim time i manji su energetske troškovi.



Slika 4. Stakla za kontrolu solarnog zagrijavanja

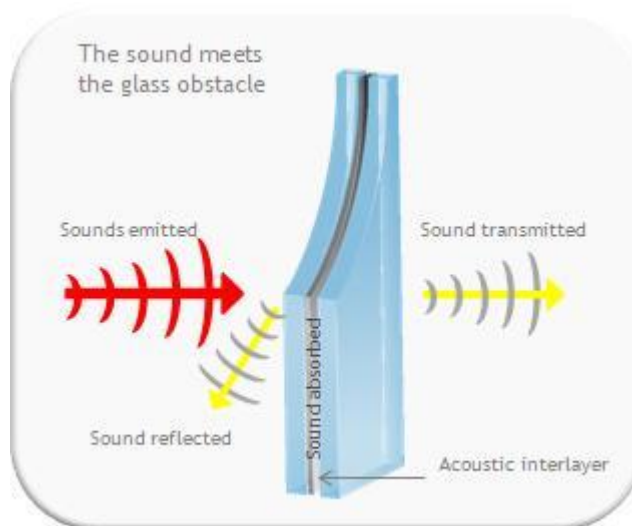
- Laminirana stakla [Slika 5] – stakla sa 2 ili više slojeva stakala između kojih se nalazi polimerni međusloj koji omogućuje poboljšana mehanička i izolacijska svojstva.

Laminirana stakla često se premazuju sa različitim premazima i kombiniraju sa drugim tipovima stakala (low-E stakla, zvučno izolacijskim staklima i sl.) čime se dobiju moderna (eng. *high tech*) stakla.



Slika 5. Laminirano staklo

- Zvučno izolacijska stakla [Slika 6] – poseban tip laminiranog stakla čiji akustični međusloj djeluje kao membrana koja odbija zvučne valove. Zvučno izolacijska stakla mogu se kombinirati i sa drugim staklima (low-E stakla, zvučno izolacijskim staklima i sl.) i premazima čime se dobiju moderna (eng. *high tech*) stakla.



Slika 6. Zvučno izolacijsko staklo

- Samočistiva stakla [Slika 7] – posebna moderna stakla sa hidrofbnim premazima koji omogućuju samočišćenje površine stakala. Premaz na ovim staklima ima dvije funkcije:
 - a) foto-kataliza – djelovanjem svjetla razbija se prljavština
 - b) hidrofbnost – omogućuje klizanje čestica sa površine

Ovakav tip stakala odnosno premaza za stakla još je u razvoju i još uvijek premazi nisu toliko učinkoviti da se staklo samo čisti.



Slika 7. Samočistivo staklo

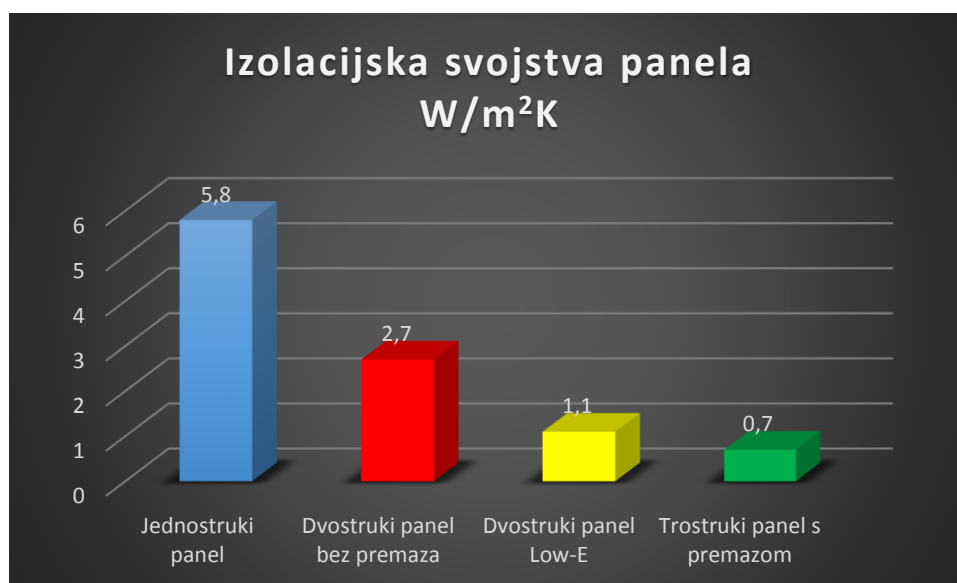
2.2. Strukturalni panel pročelja

Strukturalni panel pročelja predstavlja osnovnu jedinicu građe pročelja. Strukturu panela čine aluminijski okvir i prozorska krila, najčešće 2 između kojih se nalazi međuprostor gdje struji zrak [Slika 8].



Slika 8. Strukturalni panel

Ovisno o broju stakala strukturalni paneli mogu biti jednostruki, dvostruki i trostruki s raznim premazima. Trenutno su najzastupljeniji jednostruki paneli, ali sve je veća tendencija korištenja dvostrukih i trostrukih panela zbog puno veće energetske učinkovitosti i boljih mehaničkih i izolacijskih svojstava [Slika 9].



Slika 9. Dijagram izolacijskih svojstava panela

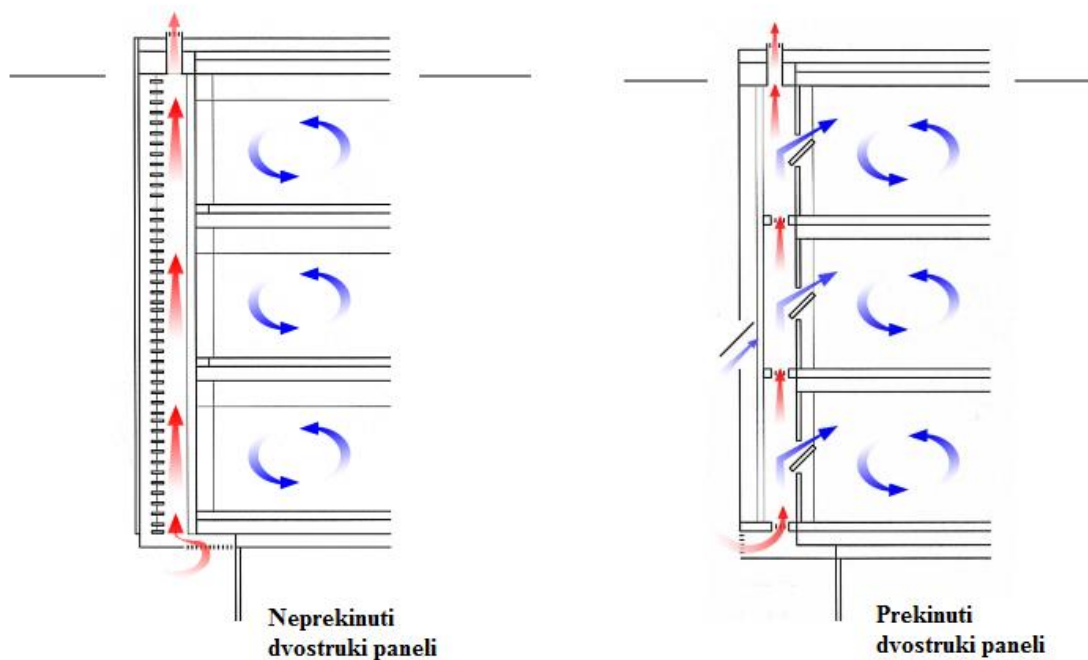
2.2.1. Dvostruki strukturalni panel

Dvostruki strukturalni panel danas predstavlja trend u postavljanju staklenih pročelja građevina. Panel se sastoji od dva prozorska krila koja su odvojena međuprostorom na način da je jedno postavljeno ispred drugog. Takvom strukturom omogućena je:

- dugotrajnost, s obzirom da vanjsko staklo štiti unutarnje od atmosferskih utjecaja i oštećenja
- bolja toplinska i zvučna izolacija,
- prirodno kruženje zraka, što omogućava ventilaciju prostora na potpuno prirodan i zdrav način
- korištenje prirodnih resursa za zagrijavanje ili hlađenje prostora,
- smanjenje troškova i manja upotreba energije
- ekološka zaštita

Dvostruki stakleni paneli međusobno se razlikuju s obzirom na namjenu i konstrukciju. Uobičajeno je spomenuti diobu prema [5] na prekinute i neprekinute dvostruke panele [Slika 10]. Nепреkinuti imaju mogućnost strujanja zraka u neprekinutom procesu od donjeg dijela zgrade do gornjeg gdje on izlazi iz prostora. Dobra svojstva neprekinutih panela su bolja toplinska i zvučna izolacija, a nedostatak upotreba u toplim klimatskim uvjetima, jer se zrak do viših katova dodatno zagrijava pa pri vrhu više i ne služi kao prirodna ventilacija.

U hladnim vremenskim zonama (npr. u Rusiji) pri neprekinutom strujanju zraka pri vrhu zgrade dolazi do dodatnog hlađenja i stvaranja leda. Zato je alternativa prekinuti dvostruki panel kod kojeg upravo prekidi na jednom ili više mjesta omogućavaju izmjenu zraka iz međuprostora. Takvo pročelje ima više ventilacijskih ciklusa i bolju ventilaciju. Ovaj je sustav skuplji i pogodniji za gradnju u toplijim klimatskim zonama.



Slika 10. Prekinuti i neprekinuti dvostruki paneli

2.3. Vrste staklenih pročelja

Staklena pročelja prema [6] dijele se na:

- Strukturalna staklena pročelja [Slika 11] - izrađuju se bez vidljivih nosivih aluminijskih profila. Stakla se tehnikom lijepljenja montiraju na aluminijske profile te daju dojam cjelovite staklene površine. Otvori se ne razlikuju od ostalog dijela pročelja, te se uglavnom otvaraju prema van.



Slika 11. Strukturalna staklena pročelja

- Polustrukturalna staklena pročelja [Slika 12] - izrađuje se iz nosivih aluminijskih profila koji su vidljivi svojom minimalnom širinom i to po rubovima elemenata od kojih je pročelje izrađeno.



Slika 12. Polustrukturalna staklena pročelja

- Kontinuirana staklena pročelja [Slika 13] – izrađuju se iz vidljivih aluminijskih profila, koji slijedi aluminijski raster, a daju mogućnost različite izvedbe vanjskog profila. Moguća je ugradnja različitih prozorskih sustava.



Slika 13. Kontinuirana staklena pročelja

- Spider staklena pročelja [Slika 14] - posebna u tome što se staklo spaja posebnim držačima u četiri točke, bez dodatnih profila na vanjskom dijelu pročelja. Spider fasada daje izgled staklenog plašta.



Slika 14. Spider staklena pročelja

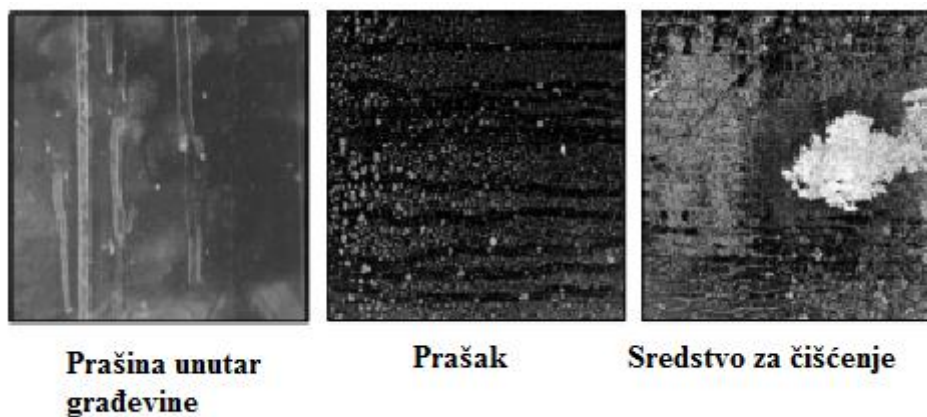
3. ČIŠĆENJE STAKLENOG PROČELJA

Najveći dio održavanja građevina sa staklenim pročeljem odnosi se na čišćenje. Čišćenje staklenog pročelja ključno je kako bi se održala funkcionalnost i estetika samog pročelja građevine. Prema [7] staklena pročelja moraju se čistiti minimalno svakih 6 mjeseci. Učestalost čišćenja staklenih pročelja može biti i češća ovisno o lokaciji same građevine, utjecajima okoliša te samog stupnja zagađenosti područja. Prilikom čišćenja staklenih pročelja posebnu odgovornost treba usmjeriti na očuvanje premaza na staklima jer djelovanjem prevelikom mehaničkom silom može doći do oštećenja tih premaza te gubitka njihovih svojstava (izolacija, energetska učinkovitost i sl.).

3.1. Nečistoće na staklenom pročelju

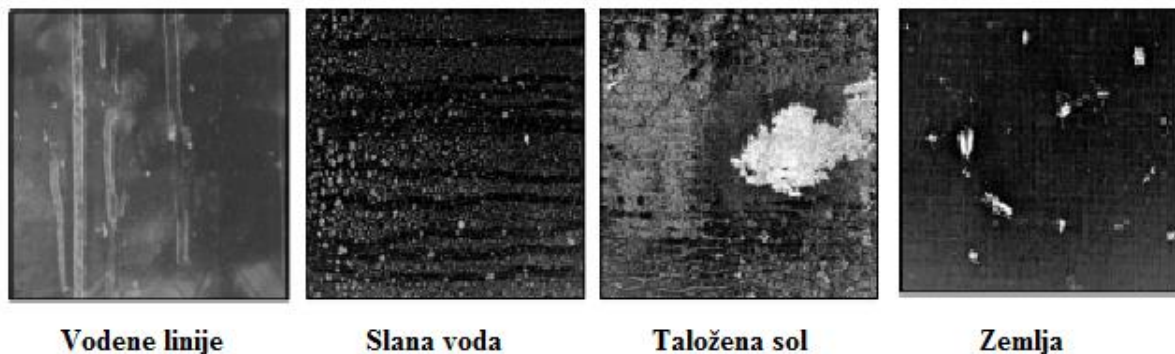
Nečistoće koje se pojavljuju na staklenom pročelju većinom su posljedica klimatskih utjecaja (sunce, kiša, magla, vlaga, snijeg) te ostalih utjecaja (prašina, smog, ispušni plinovi i sl.) vezanih za lokaciju na kojoj se građevina sa staklenim pročeljem nalazi. Većina nečistoća koje se pojavljuju na staklenim pročeljima mogu se prema [10] podijeliti u tri glavne skupine :

- Prašina – prašina unutar same građevine, prašina od prahova, prašina od sredstava za čišćenje [Slika 15]



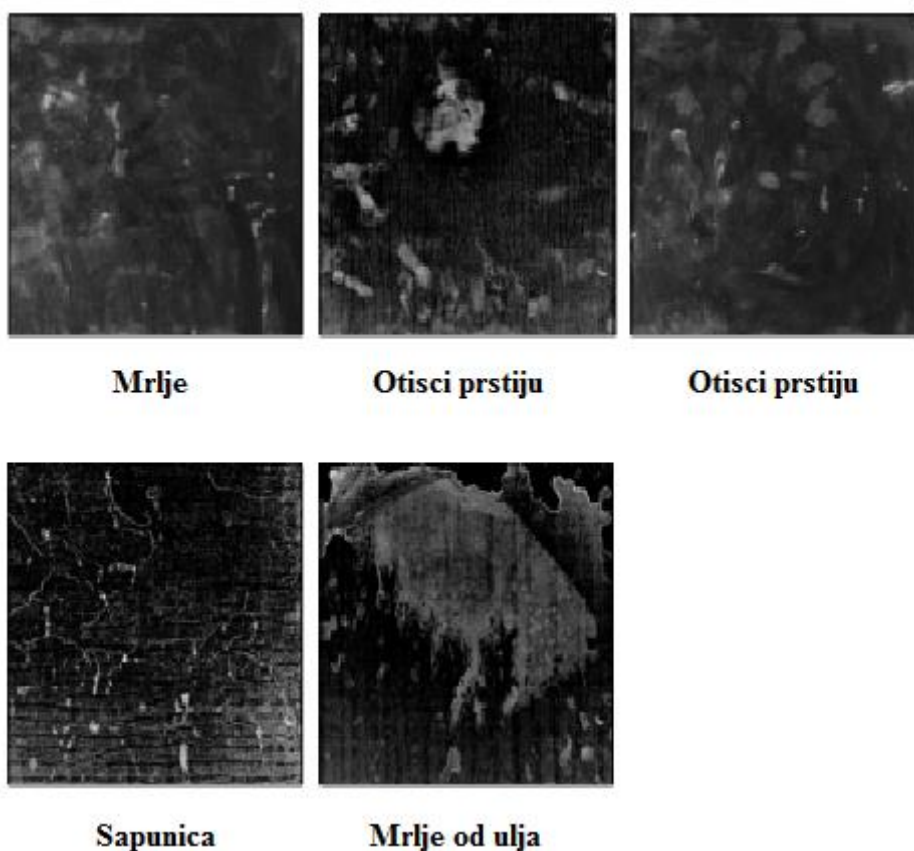
Slika 15. Primjeri nečistoće od prašine – rendgenski snimak

- Prljavština – vodene linije, slana voda, solni talog, tlo [Slika 16]



Slika 16. Primjeri nečistoća u obliku prljavština – rendgenski snimak

- Lipidi – organske tvari, mrlje, otisci prstiju, sapunica, mrlje od ulja i maziva [Slika 17]



Slika 17. Primjeri nečistoća od lipida – rendgenski snimak

Sva tri oblika nečistoća imaju određena svojstva kao što su interakcija sa zrakom, vidljiva debljina sloja nečistoće te rasipanje [Tablica 2]. Interakcija sa zrakom ima veliku važnost zbog stvaranja oksida koji dovode do korozije površine stakla što može dovesti do oštećenja same površine pročelja. Iz tablice se može vidjeti da prljavština (voda, sol, zemlja) te lipidi (mrlje, otisci, ulje i maziva) podložni su oksidaciji dok prašina u interakciji sa zrakom ne potiče oksidaciju odnosno nema kemijske reakcije između njih. Vrijednosti n_1 i n_2 u tablici

1 označavaju indekse loma svjetlosti, gdje n_1 označava indeks loma svjetlosti za zrak, a n_2

indeks loma svjetlosti za nečistoću. Bitna karakteristika nečistoća je tzv. rasipanje odnosno kut rasipanja, a vrijednost kojom se izražava rasipanje je g_{ras} koja označava srednju vrijednost kosinusa kuta rasipanja. Iz tablice se može vidjeti da najveće rasipanje nastupa kod nečistoća od lipida, dok su vrijednosti rasipanja za prljavštinu poput taložene soli, zemlje i vodenih mrlji najmanje.

Tablica 2. Nečistoće na staklenom pročelju

| Nečistoće | Interakcija sa zrakom | Vidljiva debljina sloja, τ | Rasipanje |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Prašina | Ne, $n_1 = n_2$ | Mala | $0,4 \leq g \leq 0,8$ |
| Prljavština | Da, $n_1 \neq n_2$ | Srednje velika | $0 \leq g \leq 0,8$ |
| Lipidi | Da, $n_1 \neq n_2$ | Mala | $0,7 \leq g \leq 1$ |

Danas su razvijene moderne metode 3D renderiranja [Slika 18] pomoću kojih se stvaranjem određenih modela može točno izmjeriti određeni kut rasipanja nečistoća i prema jednadžbi (1) odrediti debljina određenog sloja nečistoće.

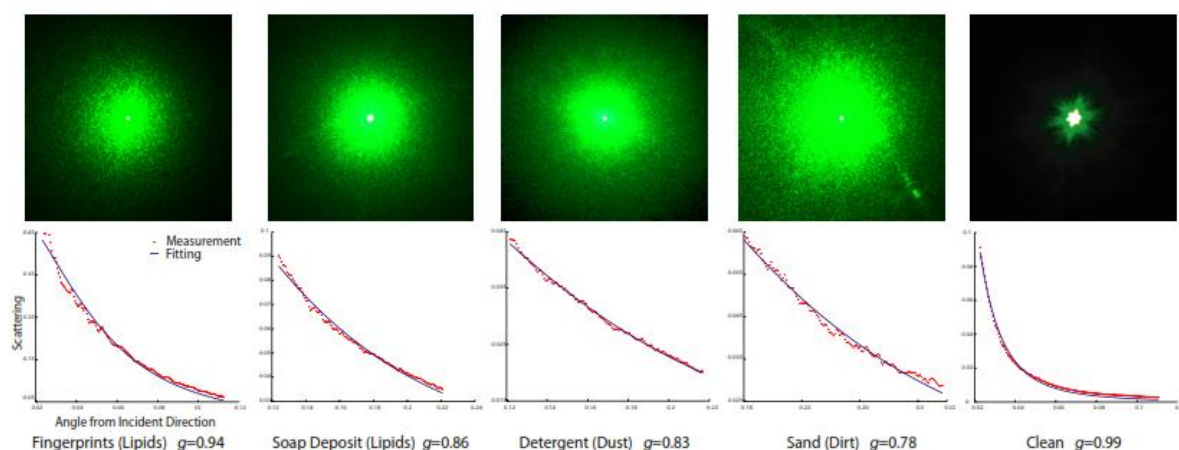
$$\tau(x, y) = -\ln \frac{I(x, y)}{I_{\text{čisto}}} \quad (1)$$

Gdje je:

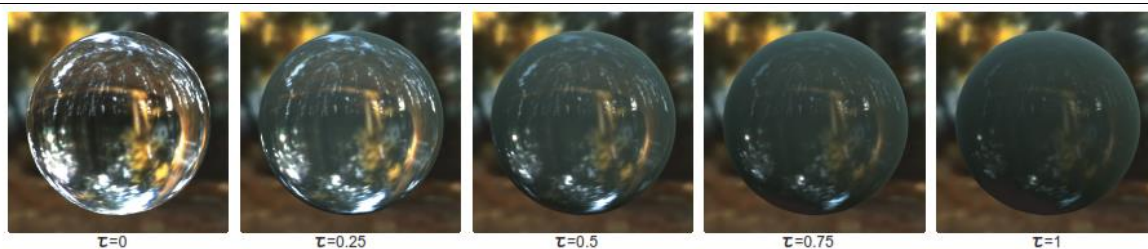
$I(x, y)$ - rezolucija slike promatranog stakla

$I_{\text{čisto}}$ - rezolucija slike čistog dijela stakla

Primjer različitih optičkih debljina slojeva nečistoće, τ prikazuje Slika 19. Razvoj ovakvih metoda značajno je utjecao i olakšao razvoj uređaja i alata za čišćenje staklenih površina.



Slika 18. Renderiranje nečistoća za određivanje rasipanja



Slika 19. Primjer različitih optičkih debljina slojeva, τ

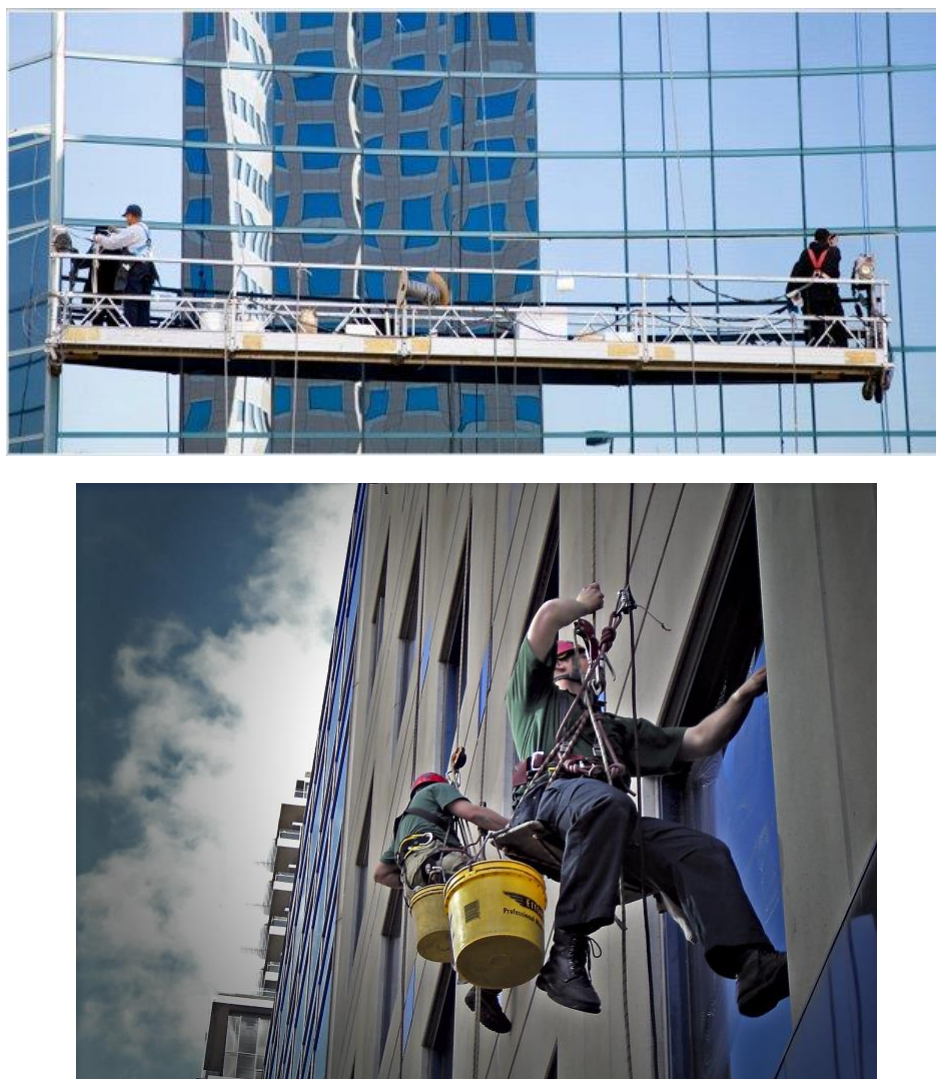
3.2. Metode čišćenja staklenih pročelja

Razvojem modernih staklenih pročelja čišćenje samih takvih staklenih površina (low-E stakla) postalo je složenije i delikatnije od tzv. „klasičnog“ pranja. Djelovanjem prevelikog pritiska vode ili prevelikom mehaničkom silom rotirajućih četki može doći do lakog oštećenja slojeva staklenih pročelja. Na površinu stakla također agresivno djeluju i voda i sredstva za čišćenje koji ako nisu propisano odabrani mogu dovesti do oksidacije i oštećenja površine stakla ili staklenih premaza. Obzirom da su čišćenje staklenih pročelja podrazumijeva čišćenje na visokim i vrlo visokim građevinama (poslovne i stambene zgrade, neboderi) sama visina čini značajan faktor u čišćenju i održavanju pročelja posebno u pogledu sigurnosti samih ljudi, ali i same kvalitete čišćenja. Svi ti faktori potaknuli su i razvoj naprednijih metoda čišćenja staklenih površina, a samim time i staklenih pročelja. Standardne metode koje se danas primjenjuju za čišćenje staklenih površina mogu se podijeliti u tri skupine:

- Ručno (manualno) čišćenje
- Poluautomatsko čišćenje
- Automatsko čišćenje

3.2.1. Ručno (manualno) čišćenje

Metoda ručnog odnosno manualnog čišćenja prema [7] najstarija je i najčešća metoda koja se danas primjenjuje za čišćenje staklenog pročelja. Ova metoda podrazumijeva direktnu interakciju čovjeka tj. čistača i površine stakla [Slika 20] gdje on određenim alatima (spužva, voda, sredstvo za čišćenje, naprava za sušenje prozora) uklanja nečistoće sa staklenih površina. Obzirom na velike visine staklenih pročelja, ljudi koji čiste takva pročelja moraju biti odgovarajuće obučeni za obavljanje poslova na visini. Za čišćenje pročelja ovom metodom nužno je imati platformu za održavanje građevina, dizalicu ili ovješene sjedalice kako bi čistač mogao doći do svakog dijela pročelja. Ova metoda je vrlo učinkovita, ali dugotrajna i vrlo opasna za ljude jer lako može doći do vrlo ozbiljnih nezgoda te je tendencija da se uporabom poluautomatiziranih i automatiziranih strojeva postupno odustaje od nje.



Slika 20. Ručna metoda čišćenja

3.2.2. Poluautomatsko čišćenje

Metoda poluautomatskog čišćenja značajnije se počela razvijati kroz zadnjih 20-tak godina. Ova metoda uključuje čovjeka kao čistača te odgovarajući sustav čišćenja (najčešće sustav reverzne osmoze) gdje čovjek sa tla ili krova građevine putem teleskopskog štapa koji je spojen na automatski sustav dobave vode uklanja nečistoće sa površine stakla [Slika 21]. Ovakve metode smanjuju rizik od povrede ljudi i padanja predmeta, ali taj rizik još uvijek postoji jer za čišćenje visokih građevina mora postojati platforma ili dizalica kako bi se moglo doći do svakog dijela pročelja. Najveća prednost ove metode čišćenja je mogućnost korištenja sustava čišćenja na bazi reverzne osmoze koji su ekološki iznimno prihvatljivi te nije potrebno korištenje agresivnih sredstava za čišćenje. Ova metoda čišćenja danas se najviše primjenjuje za čišćenje solarnih panela, ali je sve veća uporaba i za čišćenje staklenih površina.



Slika 21. Poluautomatska metoda čišćenja

3.2.3. Automatsko čišćenje

Metoda automatskog čišćenja predstavlja najnoviji način čišćenja staklenih površina pa tako i staklenih pročelja. U ovoj metodi automatizirani uređaj postavlja se na pročelje građevine pomoću dizalice ili konopaca te pušta u rad [Slika 22]. Takvim načinom u potpunosti je eliminiran rizik od pada (ljudi i stvari) te je sam postupak čišćenja puno brži. Uređaji koji rade po ovoj metodi najčešće koriste sustav reverzne osmoze koji je ekološki vrlo prihvatljiv jer za čišćenje ne koristi agresivna sredstva. Ova metoda primjenjiva je za čišćenje praktički neograničene visine samih pročelja građevina te nije potrebno koristiti platformu ili ovješene sjedalice. Negativna strana ove metode je visoka cijena samih uređaja te danas još uvijek ovakvi uređaji nisu u potpunosti autonomni već se mogu gibati samo translacijski u jednoj osi (najčešće „gore – dolje“) dok je gibanje u drugoj osi omogućeno pomoću tračnica ili mobilne dizalice na koje se uređaj mora postaviti. Zbog svojih povoljnih karakteristika ova metoda predstavlja budući pravac razvoja uređaja za čišćenje staklenih pročelja.



Slika 22. Automatska metoda čišćenja

3.3. Tehnologije čišćenja

Razvoj modernijih staklenih pročelja praćen je razvojem odgovarajućih tehnologija čišćenja takvih pročelja. Usmjerenost na ekološki prihvatljive proizvode, potreba za što većom učinkovitosti i ušteda na energiji glavne su smjernice za razvoj današnjih tehnologija za čišćenje staklenih pročelja. Tehnologije čišćenja staklenih pročelja koje se danas primjenjuju mogu se podijeliti u dvije skupine:

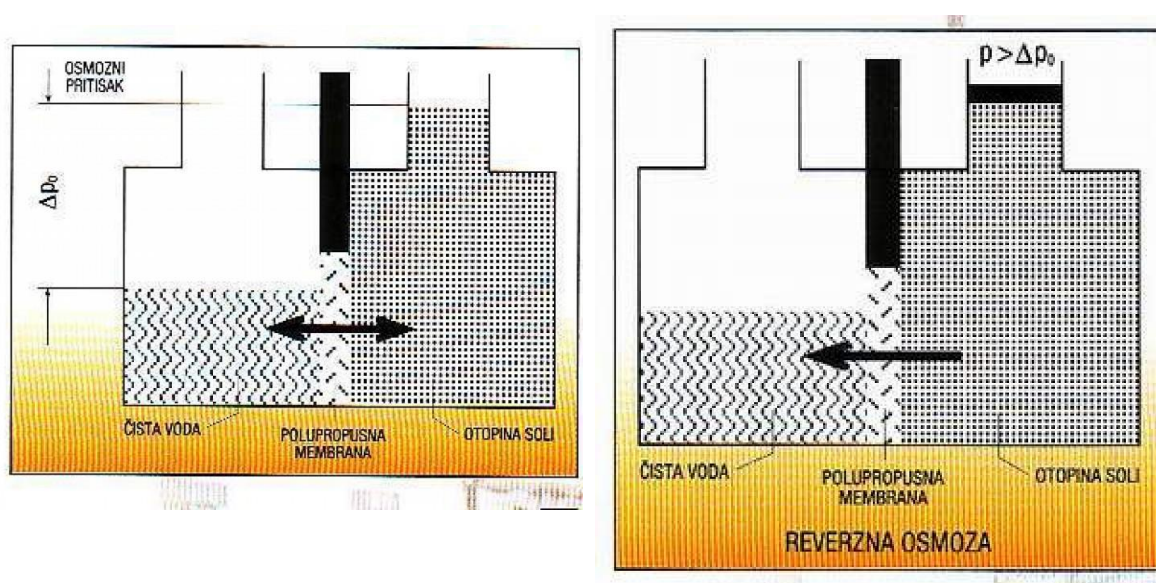
- Čišćenje kemijskim sredstvima i vodom
- Čišćenje sustavima reverzne osmoze

3.3.1. Čišćenje kemijskim sredstvima i vodom

Uporaba sredstava za čišćenje i vode još uvijek je najčešći način čišćenja staklenih pročelja. Čišćenje ovom tehnologijom zahtijeva miješanje vode i sredstva za čišćenje u određenom omjeru te nanošenje takve smjese na aplikator (spužva, krpa, četka). Nakon što se staklena površina očisti potrebno ju je posebnim cjedilom osušiti. Sredstva koja se koriste za čišćenje staklenih pročelja ne smiju sadržavati fluorovodik jer takvi spojevi agresivno djeluju na zaštitne premaze na stakli i oštećuju ga. Sredstva za čišćenje odabiru se prema vrsti zaštitnog premaza na staklenoj površini. Ova tehnologija čišćenja daje vrlo učinkovite rezultate i primjena je vrlo jednostavna, ali veliki nedostatak je što takva sredstva za čišćenje nisu ekološki prihvatljiva i djeluju negativno i na dišne sustave.

3.3.2. Čišćenje sustavima reverzne osmoze

Moderni sustavi čišćenja temelje se na čišćenje demineraliziranom vodom koja se dobiva postupkom reverzne osmoze. Proces prirodne osmoze poznat je već preko 200 gdje se razdvajaju dvije tekućine različitih koncentracija (npr. čista voda bez soli i solna otopina) kroz neku polupropusnu membranu koja propušta otapalo (npr. vodu), a ne propušta otopljene minerale. Tada kroz tu membranu prolazi samo čista voda u otopinu soli i otopinu razrijedi. Time se poveća volumen solne otopine i njezina se razina digne iznad razine čiste vode. Zbog toga dolazi i do razlike u pritiscima, a nastali pritisak naziva se osmozni pritisak. Kod obratne ili reverzne osmoze na solnu otopinu djeluje pritisak viši od osmoznog te iz otopine soli kroz membranu prolazi čista voda [Slika 23].



Slika 23. Reverzna osmoza

Otopljene soli i ostale primjese, kao koloidi, bakterije itd. ostaju u otopini, a na drugoj strani membrane ostaje čista voda. Reverzna osmoza je postupak odvajanja otopljenih tvari (minerala) od otapala (vode) i koristi se za dobivanje čiste vode ili u galvanskoj industriji za izlučivanje dragocjenih skupih otopljenih tvari. Za izradu polupropusnih membrana upotrebljavaju se celulozni acetat ili poliamid. Takve membrane ugrađuju se u čvrste i na visoke pritiske otporne cijevi iz poliestera koje se nazivaju modulima. Ovako dobivena demineralizirana voda vrlo je pogodna za čišćenje staklenih površina neovisno o vrsti premaza jer ne djeluje agresivno na njih. Obzirom da čišćenjem ovakvom demineraliziranom vodom ne zahtjeva korištenje sredstava za čišćenje postupak reverzne osmoze predstavlja trend u razvoju modernih sustava za čišćenje pročelja.

3.4. Smjernice i standardi za čišćenje staklenih pročelja

Za čišćenje staklenih pročelja zgrada potrebno je poštivati određene smjernice čišćenja, posebno za stakla sa premazima. Opće smjernice za čišćenje staklenih pročelja prema [7] su:

- Provoditi sigurnosne uvjete tijekom cijelog vremena trajanja čišćenja, imati zaštitnu opremu tijekom cijelog vremena trajanja čišćenja, pratiti upute za čišćenje i korištenje opreme za čišćenje
- Pažljivo čitati upute o kemikalijama i sredstvima za čišćenje te pokušati minimizirati uporabu takvih sredstava
- Strogo je zabranjeno korištenje svih proizvoda koji sadržavaju fluorovodičnu kiselinu (HF) ili derivate fluorovodika jer djeluju nadražujuće na premaze na staklima te ih lako mogu oštetiti
- Strogo zabranjeni svi proizvodi koji sadrže jake kiseline i lužine jer djeluju izrazito nadražujuće na premaze na staklima
- Osigurati kemijsku kompatibilnost između proizvoda za čišćenje i površine koja se čisti (staklo, premazi, aluminijski okvir, brtvila)
- Ako je potrebno provoditi specijalni tretman čišćenja (zbog većih oštećenja) prvo napraviti probni test čišćenja na maloj površini stakla.
- Ne čistiti stakla kada su direktno izložena suncu te kada je previsoka ili preniska vanjska temperatura
- Tijekom čišćenja stakla provjeriti i stanje okvira i brtvila

- Osigurati da su spužve, krpe, cijedila i ostali alati za čišćenje u ispravnom stanju tijekom cijelog vremena trajanja čišćenja

Kako bi mogli čistiti staklena pročelja na adekvatan način svi profesionalni čistači staklenih pročelja trebaju prema svjetskoj organizaciji za čišćenje prozora IWCA (International Window Cleaning Association) imati certifikat I14 kojim ispunjavaju sve uvjete potrebne za sigurno i kvalitetno korištenje sve opreme i uređaja za čišćenje staklenih pročelja. Svi uređaji za čišćenje staklenih pročelja trebaju imati certifikate za kvalitetu ISO 9001:2008 i za zaštitu okoliša ISO 14001:2014

4. ANALIZA TRŽIŠTA

Potražnja za staklenim površinama danas je u velikom porastu, posebno u automobilske industriji, građevini te u izradi solarnih panela. Uz sve veći porast uporabe staklenih površina značajno je porasla i potreba za održavanjem tj. čišćenjem takvih staklenih površina što je rezultiralo velikim porastom u zapošljavanju u sektoru čišćenja i održavanja. Najveći porast zapošljavanja zabilježen je u poslovima za čišćenje staklenih pročelja te je prema [8] prosječna godišnja plaća čistača staklenih pročelja za 2014. godinu u svijetu iznosila od 30000 do 50000 dolara.

4.1. Svjetsko tržište staklenih površina

Proizvodnja staklenih površina, a najviše ravnih industrijskih stakala u značajnom je porastu i prema [4] 2014. godine u svijetu je proizvedeno oko 65 milijuna tona ravnog industrijskog stakla. Najviše stakla danas se proizvodi u Kini, čak 50% dok se u Europi proizvodi 15 %, a u značajnom porastu je proizvodnja staklenih površina u Južnoj Americi, Jugoistočnoj Aziji i Indiji [Slika 24].



Slika 24. Proizvodnja ravnog stakla u svijetu

4.2. Europsko tržište staklenih površina

Proizvodnja ravnog stakla u Europi danas je najviše usmjerena na proizvodnju energetske učinkovitih staklenih površina. Obzirom da je postupak dobivanja takvog stakla skup i tehnički zahtjevan u Europi postoje samo 7 proizvođača stakla od kojih su 4 najveća:

- AGC, Belgija
- NSG Group, Ujedinjeno Kraljevstvo

- Saint-Gobain Glass, Ujedinjeno Kraljevstvo
- Sisecam, Turska

Ova četiri proizvođača danas su vlasnici čak 57 od 62 postrojenja za proizvodnju staklenih površina u Europi [4].

4.3. Tržište staklenih pročelja

Sve veći trend uporabe stakla u izgradnji građevina odnosno staklenih pročelja rezultiralo je da se najveći dio proizvedenog ravnog stakla koristi upravo za izradu takvih staklenih pročelja. Prema [4] čak 80% od ukupno proizvedenog ravnog stakla koristi se za izradu staklenih pročelja. Taj trend nastavlja se i zbog sve veće ekološke osviještenosti jer su ovakva moderna staklena pročelja energetske vrlo učinkovita pa je i ušteda na energiji značajnija, a time se i manje iskorištavaju prirodni resursi. Zbog velike energetske učinkovitosti ovakvih staklenih pročelja prema [4] čak 40% od ukupne proizvodnje staklenih pročelja koristi za obnovu postojećih pročelja.

4.4. Troškovi čišćenja staklenih pročelja

Prema [9] danas u svijetu postoji oko 80000 zgrada s više od 12 katova od kojih više od 30% ima stakleno pročelje. Troškovi čišćenja staklenog pročelja ovise o mnogo faktora kao što su:

- Svojstva staklenog pročelja (vrsta stakla, premazi, struktura pročelja)
- Ukupna površina staklenog pročelja
- Učestalost čišćenja
- Troškovi radnika

Uzimajući u obzir ove faktore prema [9] određena je prosječna cijena čišćenja koja iznosi 8-9 €/m². Pomoću ove vrijednosti lako se može izračunati cijena čišćenja jedne prosječne zgrade sa staklenim pročeljem [Tablica 3].

Tablica 3. Cijena čišćenja zgrade sa staklenim pročeljem

| Ukupna površina staklenog pročelja (m ²) | Prosječna cijena čišćenja (€/m ²) | Ukupna cijena čišćenja (€) |
|--|---|----------------------------|
| 12000 | 8 | 96.000,00 |
| 12000 | 9 | 108.000,00 |

Ova cijena odnosi se na standardnu ručnu metodu čišćenja te se može vidjeti da je čišćenje ovakvih visokih zgrada dosta velik trošak.

4.5. Uređaji za čišćenje staklenih pročelja

Danas na tržištu postoji jako veliki izbor alata i uređaja za čišćenje staklenih pročelja. Svi ti uređaji napravljeni su tako da se njima mogu zadovoljiti svi uvjeti potrebni za pravilno čišćenje staklenih površina. Odabir odgovarajućeg uređaja za čišćenje ovisi o vrsti stakla koje se čisti odnosno o zaštitnom premazu koji se nalazi na staklu. Većina uređaja koji se danas koriste mogu se podijeliti prema metodi za koju su namijenjeni u 3 razreda odnosno :

- Uređaji za ručno čišćenje
- Poluautomatizirani uređaji
- Automatizirani uređaji

4.5.1. Uređaji za ručno čišćenje

U ovu skupinu uređaja svrstavaju se svi osnovni alati za čišćenje staklenih površina [Slika 25]:

- Spužve
- Četke – sintetičke, prirodne
- Krpe – mikrovlakna, nanovlakna, vuna
- Brisači stakla
- Ovjesne kante
- Sredstva za rad na visini – sigurnosna užad, odjeća, rukavice, kaciga, zaštitne naočale, kuke
- Platforme, ovjesne sjedalice, dizalice



Slika 25. Uređaji za ručno čišćenje

4.5.2. Poluautomatizirani uređaji za čišćenje

Poluautomatizirani uređaji za čišćenje staklenih pročelja najčešće se sastoje od samog uređaja za čišćenje (najčešće teleskopska četka) i uređaja za dobavu vode ili vode i sredstva za čišćenje [Slika 26]. Četke koje se koriste za čišćenje najčešće su gumirane, ali mogu biti i od prirodnih materijala. Kao sustav dobave vode i sredstva za čišćenje danas se najčešće koriste sustavi koji rade na principu reverzne osmoze koji su zbog svojih prednosti (čišćenje čistom vodom, ekološki vrlo prihvatljivi, pogodni za čišćenje svih vrsta stakala) idealni za čišćenje staklenih pročelja.



Slika 26. Poluautomatizirani uređaji za čišćenje

4.5.3. Automatizirani uređaji za čišćenje

Automatizirani uređaji za čišćenje staklenih pročelja predstavljaju najmodernije uređaje za čišćenje te na tržištu postoji samo nekoliko gotovih takvih uređaja. Ovakvi uređaji postavljaju se na pročelje zgrade (dizalica, ovjesno vitlo) nakon čega se uređaj pušta u rad gdje autonomno čisti stakleno pročelje [Slika 27]. Automatizirani uređaji za čišćenje također koriste sustave dobave vode na principu reverzne osmoze dok se samo čišćenje staklenih površina vrši putem rotirajućih četki i vode. Automatizirani uređaji koji se danas koriste još uvijek imaju ograničeno gibanje samo po jednoj osi dok se za gibanje u drugoj osi koriste mobilne dizalice ili vitla.






Slika 27. Automatizirani uređaji za čišćenje

4.6. Proizvođači uređaja za čišćenje staklenih pročelja

Obzirom na današnji trend uporabe staklenih pročelja u izgradnji visokih građevina sve je veća potreba za razvojem novih, automatiziranih i poluatomatiziranih uređaja za čišćenje takvih staklenih pročelja. Danas na tržištu postoji najviše proizvođača uređaja za ručno čišćenje staklenih pročelja obzirom da je takav način čišćenja još uvijek najčešći. Zbog prednosti koje donose sve je veći porast u proizvodnji poluatomatiziranih uređaja za čišćenje, dok samo nekoliko tvrtki danas proizvodi automatizirane uređaje koji još uvijek nisu u masovnoj uporabi. Vodeći proizvođači uređaja za čišćenje staklenih pročelja u svijetu su:

- IPC Eagle (eng. Integrated Professional Cleaning), SAD – proizvode vakumske čistače staklenih površina, čistače solarnih panela i poluatomatizirane i automatizirane čistače staklenih pročelja [Tablica 3].

Tablica 4. IPC Eagle – Proizvodi za čišćenje staklenih pročelja

| IPC Eagle - Proizvodi za čišćenje staklenih pročelja | | |
|---|---|---|
| Poluautomatizirano čišćenje | Automatizirano čišćenje | Sustavi dobave RO |
| Teleskopska četka Flip Lock II | HighRise | Hydro Cart |
|  |  |  |

- Ettore, SAD – vodeći proizvođač brisača stakla u svijetu, proizvode sve uređaje za ručno čišćenje staklenih pročelja [Slika 28]



Slika 28. Ettore – uređaji za čišćenje staklenog pročelja

- Unger, Njemačka – vodeći proizvođač uređaja za ručno čišćenje staklenih pročelja u Europi [Slika 29].



Slika 29. Unger – uređaji za čišćenje staklenog pročelja

- Serbot, Švicarska – vodeći proizvođač automatiziranih uređaja za čišćenje staklenih pročelja u Europi, glavni proizvod je automatizirani robotski čistač Gekko koji je razvijen 2014. godine [Slika 30].



Slika 30. Serbot – robotski čistač Gekko

U tablici 5 mogu se vidjeti specifični podaci (efikasnost čišćenja, potrošnja vode) za čišćenje staklenih fasada postojećih automatiziranih uređaja za čišćenje staklenih pročelja.

Tablica 5. Specifikacije postojećih automatiziranih uređaja

| Proizvođač | Tip uređaja | Potrošnja vode, q (l/h) | Efikasnost čišćenja, $\eta_{\text{čiš}}$ (m ² /h) |
|------------------|---------------------------|------------------------------|---|
| IPC Eagle | HighRise | 228 | 1200 |
| Fraunhofer | Sirius_c - čišćenje parom | 1,5 | 700 |
| Serbot | Gekko | 30 - 90 | 645 |
| Korea University | BFMR | 8,7 - 10,8 | 403,2 |

Iz tablice 4. može se vidjeti da uređaji koji čiste parom imaju znatno manju potrošnju vode, ali i manju efikasnost čišćenja dok je kod uređaja koji koriste četke i tekuću vodu situacija obratna.

5. DEFINIRANJE PROJEKTOG ZADATAKA

Nakon analize tržišta te postojećih uređaja za čišćenje staklenih pročelja vidi se da su danas još uvijek najzastupljeniji uređaji za ručno čišćenje dok je samo nekoliko automatiziranih uređaja koji su još uvijek u razvoju.

U ovom projektu pokušati će se dati rješenje za jedan automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja koji bi trebao zadovoljavati sljedeće uvjete:

- Čišćenje ekološki prihvatljivom metodom – sustavi reverzne osmoze i čišćenje vodenom parom
- Osigurati djelotvorno čišćenje neovisno o visini same građevine (utjecaji vjetra, razlika u temperaturi podnožja i vrha građevina, ostali klimatski utjecaji)
- Olakšano pozicioniranje uređaja na samu građevinu odnosno pročelje građevine
- Osigurati na siguran način vođenje uređaja po cijelom pročelju građevine
- Mogućnost relativno jednostavnog premještanja uređaja sa jednog pročelja na drugo
- Pri konstruiranju što više koristiti dijelove i sklopove dostupne na tržištu
- Brzina čišćenja, $v_{\text{čiš}} = 6 \text{ m/min} = 0,1 \text{ m/s}$
- Potrošnja vode, $q_m = 3 \text{ l/h} = 0,05 \text{ l/s}$

Kako bi se što bolje definirale funkcije uređaja provedena je anketa na temelju 30 ispitanika različitih zanimanja iz čijih rezultata su definirane glavne potrebe korisnika koje bi uređaj trebao zadovoljavati [Tablica 6].

Tablica 6. Glavne potrebe korisnika

| Glavne potrebe korisnika | Ocjena važnosti |
|---|-----------------|
| Kvaliteta čišćenja staklenih površina | 10 |
| Efikasnost čišćenja | 9 |
| Sigurno vođenje i upravljanje uređaja | 8 |
| Investicijski troškovi + potrošnja vode | 7 |
| Ekološki prihvatljivo čišćenje | 6 |
| Cijena održavanja i servisiranja | 5 |
| Životni vijek | 4 |
| Generiranje buke i utjecaj na okolinu | 3 |
| Jednostavnost uporabe | 2 |
| Estetika | 1 |

Iz tablice 4. može se vidjeti da je najvažnija stavka kvaliteta čišćenja staklenih površina te sama efikasnost čišćenja tj. količina očišćene površine u satu. Može se vidjeti da je vrlo važna stavka

sigurno vođenje i upravljanje uređaja tj. pouzdanost uređaja u radu. Veliku važnost pridodana je i na korištenje ekološki prihvatljivih metoda čišćenja (sustavi obrnute osmoze) te na održavanje i servisiranje samog uređaja kao i na visinu investicijskih troškova te potrošnje vode tijekom čišćenja. Obzirom da se radi o pokretnom uređaju sa velikim brojem pogonskih uređaja (pumpe za vodu, pumpe za zrak, elektromotori) izgled ima nešto manju važnost, no upravo taj velik broj pokretnih strojeva i dijelova može generirati buku pa i taj faktor predstavlja bitnu stavku u koncipiranju ovakvog uređaja.

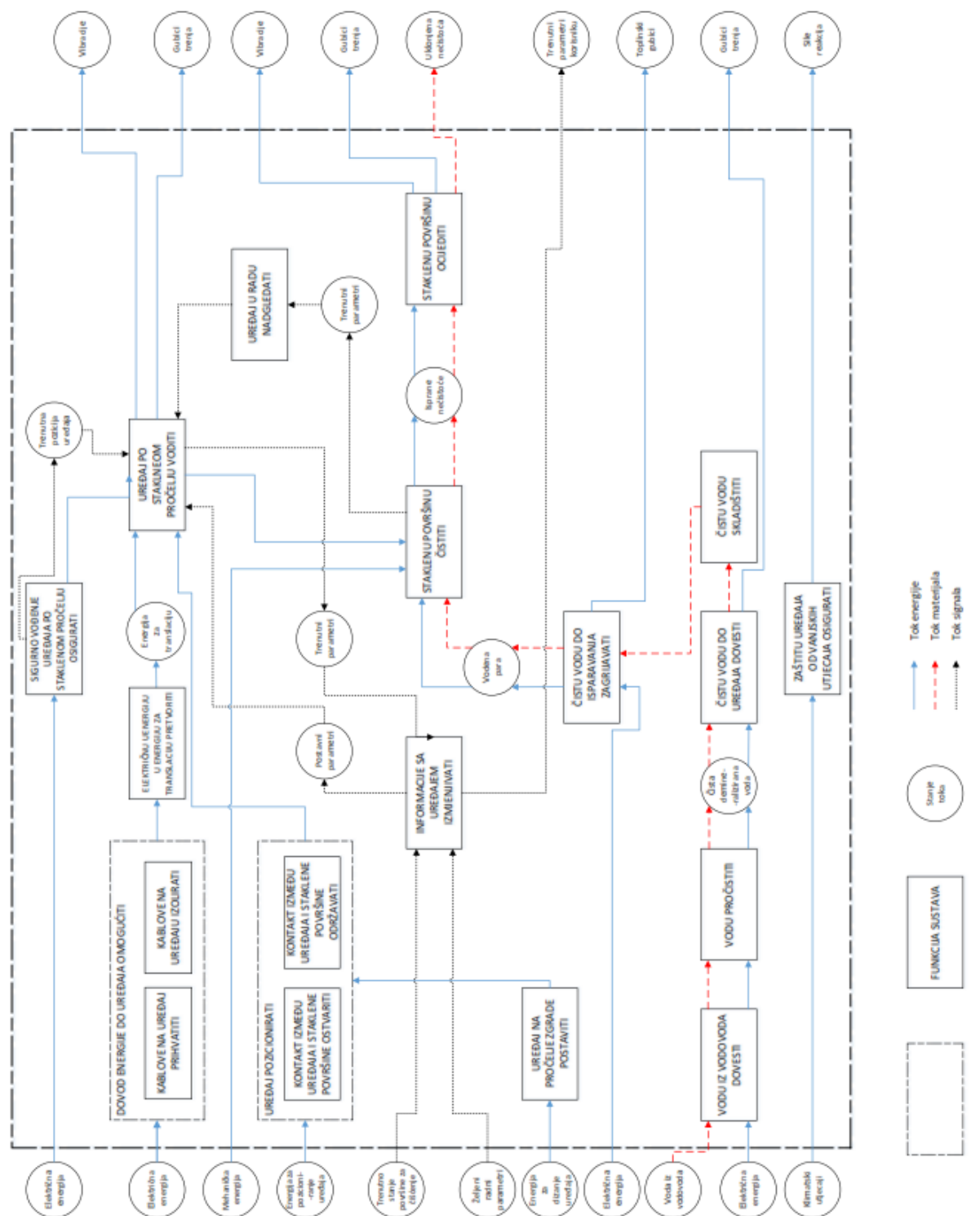
Za razvoj ovakvog uređaja napraviti će se funkcijska struktura te će se na temelju nje dati konceptualna rješenja koja zadovoljavaju te funkcije. Nakon odabira najpovoljnijeg rješenja slijediti će detaljna konstrukcijska razrada odabranog konceptualnog rješenja. Konstrukcijska razrada sadržavati će proračun čvrstoće i sigurnosti svih kritičnih i nosivih dijelova konstrukcije te odabir potrebnih standardnih pogonskih dijelova. Nakon konstrukcijske razrade napraviti će se 3D model uređaja te će se izraditi potrebna tehnička dokumentacija.

5.1. Funkcijska struktura

Temeljem definiranih početnih uvjeta te potreba korisnika koje uređaj mora zadovoljavati izrađena je funkcijska struktura koja prikazuje glavne funkcije uređaja te tok energije, materijala i signala [Slika 31].

Iz funkcijske strukture može se vidjeti da su glavne funkcije:


























- Uređaj po staklenom pročelju voditi
- Staklenu površinu čistiti
- Uređaj pozicionirati



Slika 31. Funkcijska struktura

5.2. Morfološka matrica

Nakon definirane funkcijske strukture izrađuje se morfološka matrica koja prikazuje moguća rješenja za pojedine funkcije automatskog uređaja za čišćenje staklenih pročelja [Slika 32].

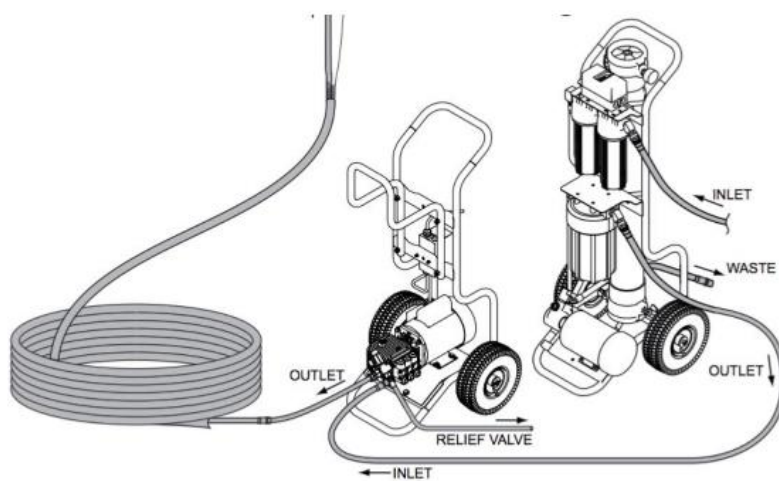
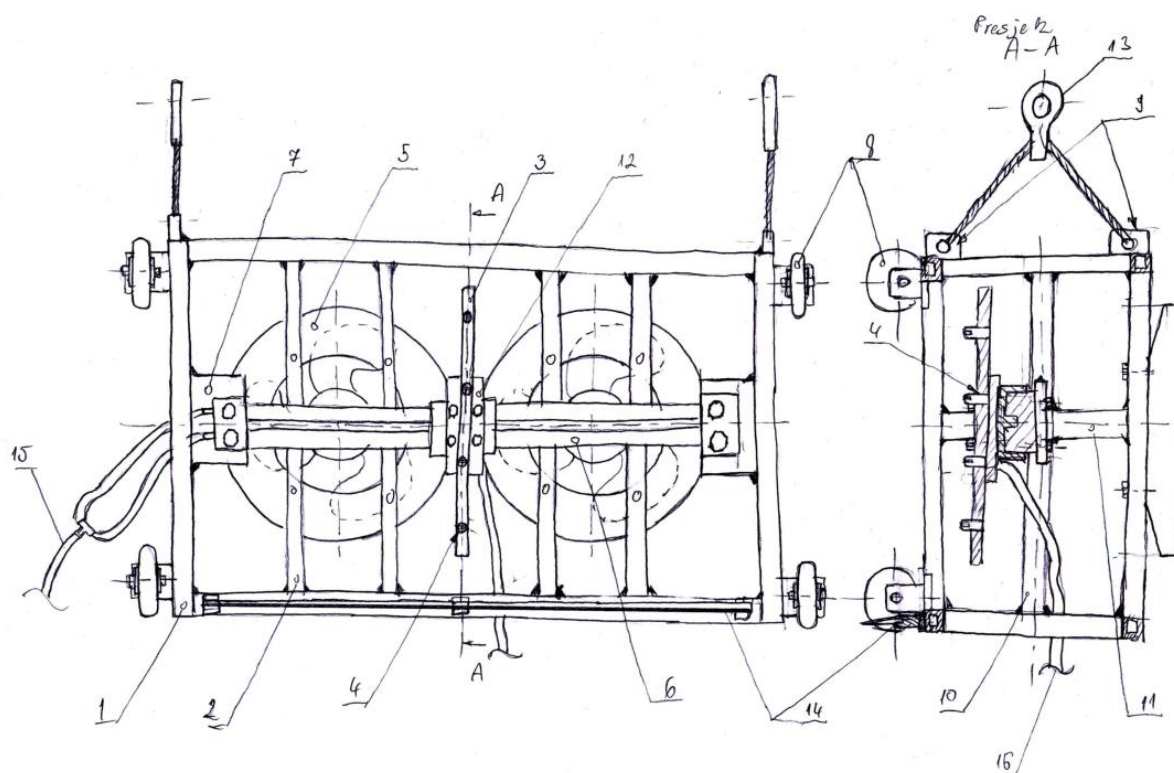
| MORFOLOŠKA MATRICA | | | | | | | | |
|---|---|--|---|--|--|---|---|---|
| FUNKCIJA | RJEŠENJA POJEDINIY FUNKCIJA | | | | | | | |
| Uređaj na pročelje zgrade postaviti | Ručno |  | Dizalica | |  | | | |
| Dovod energije do uređaja omogućiti |  Izolirani kabel + modularno napajanje | | | | | | | |
| Kablove na uređaj prihvatiti | | | | | | | | |
| Kablove na uređaju izolirati | | | | | | | | |
| Uređaj pozicionirati | Ručno |  | Dizalica | |  | | | |
| Kontakt između uređaja i staklene površine ostvariti | Vakuumska usisna prihvatnica | |  | Gumeni kotači | |  | | |
| Kontakt između uređaja i staklene površine održavati |  Vakuumski ovjes |  Amortizer | |  Potisni ventilator | | | | |
| Uređaj po staklenom pročelju voditi |  Pomična dizalica |  Vozičak + tračnice | |  Pokretne vakuumske hvataljke | | | | |
| Sigurno vođenje uređaja po staklenom pročelju osigurati | Graničnici | | | Senzori | |  | | |
| Električnu energiju u energiju za rotaciju pretvoriti | Elektromotor | | | | |  | | |
| Energiju za rotaciju u energiju za translaciju pretvoriti |  Lineatni aktuator | Elektromehanički i pneumatsk linearni pogoni s klizačem | |  Zupčasta letva |  Osovine sa zupčastim remenom | | | |
| Uređaj u radu nadgledati | Ljudsko oko | Kamera | |  | Senzori |  | | |
| Staklenu površinu čistiti | Mlaznice za vodenu paru | | |  | Rotirajuća četka | |  | |
| Staklenu površinu ocijediti |  Gumeni brisač | Puhalo vrućeg zraka | |  | Usisna pumpa | |  | |
| Informacije s uređajem izmjenjivati | CPU |  | Arduino |  | PLC (programmable logic controller) | | | |
| Vodu iz vodovoda dovesti | Dovodno tlačno crijevo | | | | |  | | |
| Vodu pročistiti | Sustav reverzne osmoze | |  | Desalinizator |  | Omekšivači vode | |  |
| Čistu vodu do uređaja dovesti | Dovodno tlačno crijevo | | | | |  | | |
| Čistu vodu skladištiti | Izolirani spremnik | | | | |  | | |
| Čistu vodu do isparavanja zagrijavati | Električni grijač | |  | Plinsko zagrijavanje | | | | |
| Zaštitu uređaja od vanjskih utjecaja osigurati | Metalno kućište | | Plastično kućište | | Kompozitno kućište | | | |

Slika 32. Morfološka matrica

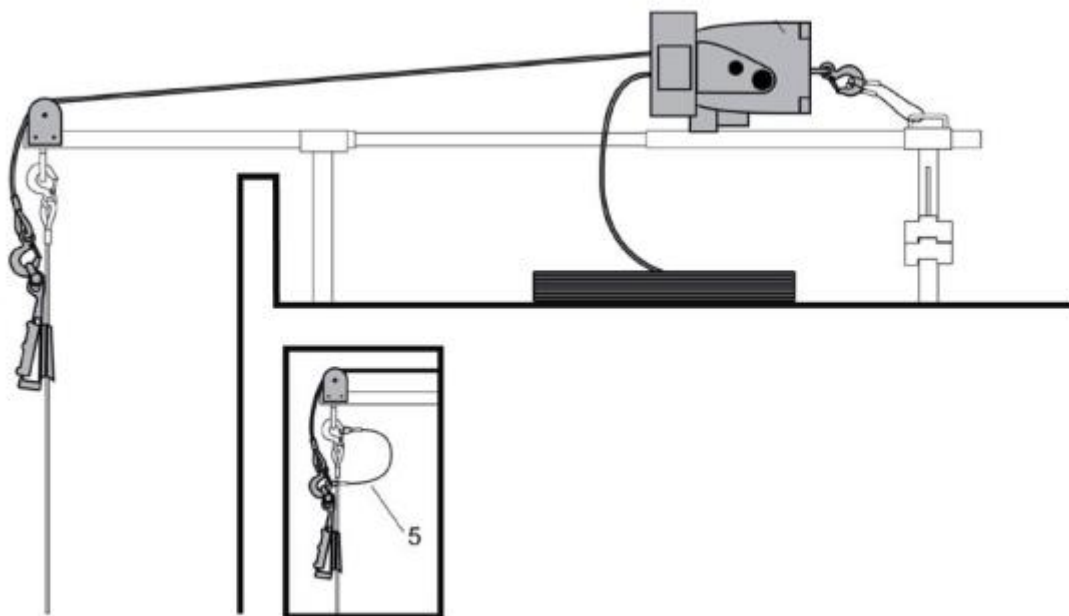
5.3. Konceptualna rješenja

Definiranjem funkcija koje uređaj mora ispunjavati te danim rješenjima za te funkcije u morfološkoj matrici izrađuje se nekoliko konceptualnih rješenja uređaja za čišćenje staklenih pročelja zgrada.

5.3.1. Koncept 1



Slika 33. Koncept 1

**Slika 34. Koncept 1 – dizalica**

- | | |
|--|--|
| 1 – Nosiva konstrukcija | 9 – Nosač za ovješanje |
| 2 – Nosač ventilatora | 10 – Vertikalna ukruta |
| 3 – Nosač mlaznica | 11 – Horizontalna ukruta |
| 4 – Mlaznica | 12 – Pričvrsnica nosača mlaznica na klizač |
| 5 – Ventilator | 13 – Ovjesno oko |
| 6 – Pneumatski linearni pogon sa klizačem | 14 – Brisač |
| 7 – Nosač pneumatskog linearnog pogona sa klizačem | 15 – Tlačno crijevo za zrak |
| 8 – Gumeni kotač | 16 – Tlačno crijevo za vodu |

Princip rada :

Uređaj se postavlja na pročelje zgrade pomoću mobilne dizalice postavljene na krov zgrade. Nosiva konstrukcija uređaja (1) te vertikalne (10) i horizontalne (11) ukrute izrađeni su u zavarenoj izvedbi od kvadratnih cijevi od nehrđajućeg čelika. Postupak čišćenja omogućuje se putem 4 mlaznice (4) koje su pomoću nosača (3) i pričvrsnice (12) postavljeni na pneumatski linearni pogon sa klizačem (6) koji omogućuje translatorno gibanje mlaznica. Površina stakla

čisti se parom pročišćene vode nakon čega brisač (14) cijedi očišćenu površinu stakla. Sustav za pročišćavanje putem reverzne osmoze te spremnik komprimiranog zraka postavljeni su na pokretnim kolicima [Slika 33] te se do uređaja dopremaju pomoću tlačnih crijeva (15) i (16). Vođenje uređaja omogućeno je pomoću gumenih kotača, dok se pomicanje samog uređaja vrši pomoću portalne dizalice na koju je uređaj ovješten pomoću ovjesnog oka (13). Stalan kontakt sa površinom održava se pomoću dva ventilatora (5) koji djeluju kao potisnici.

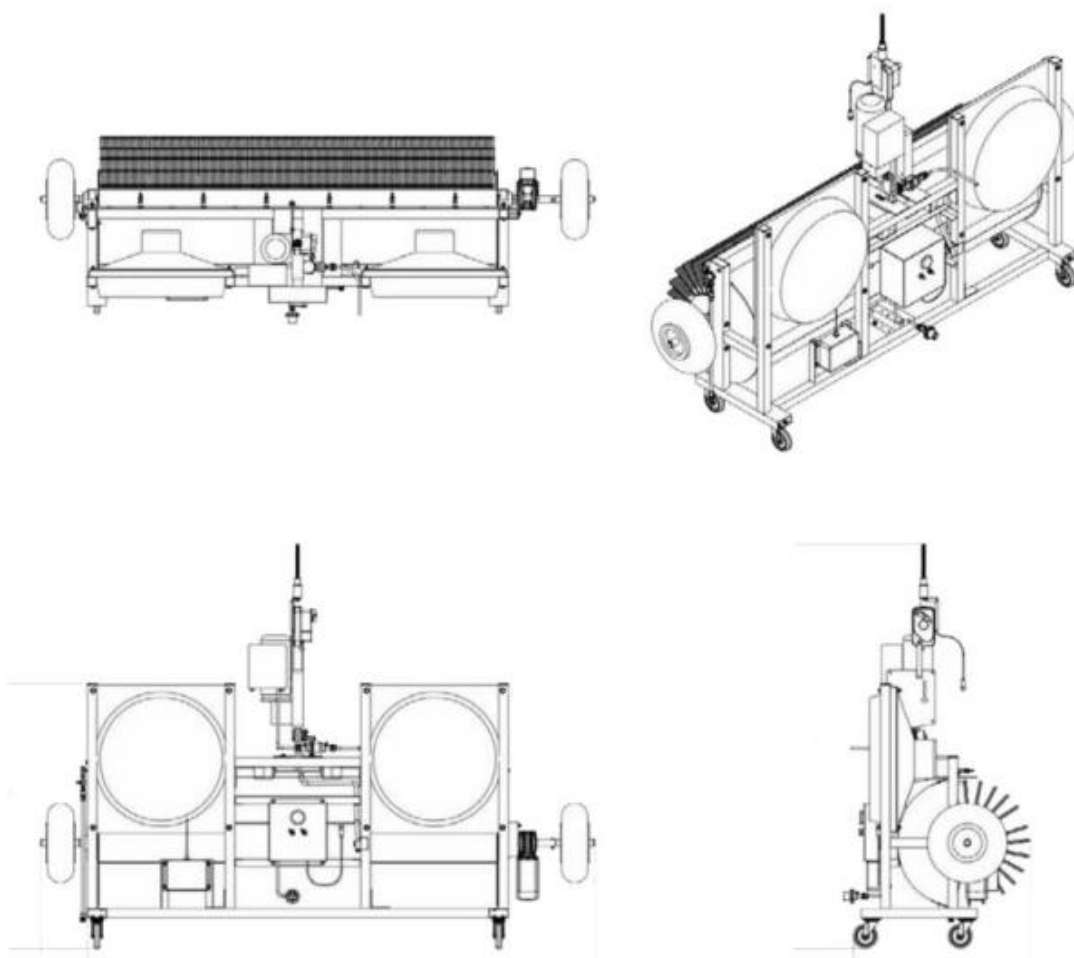
Prednosti:

- Velika brzina čišćenja
- Visoka efikasnost čišćenja
- Ekološki prihvatljiva metoda čišćenja
- Relativno malo pokretnih dijelova na samom uređaju
- Jednostavna izvedba uređaja

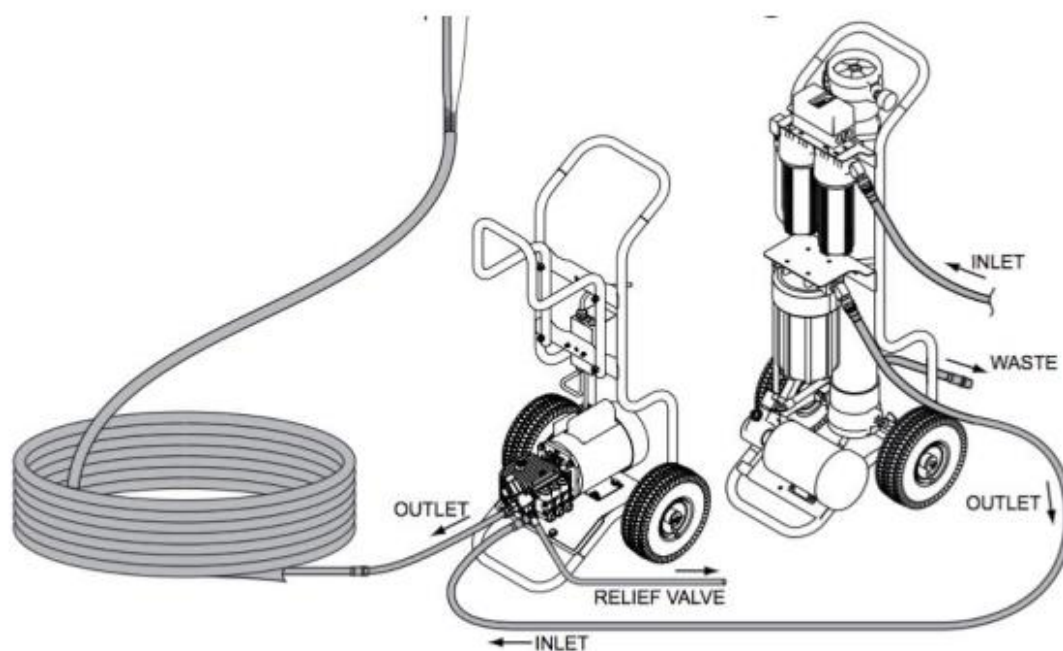
Nedostaci:

- Potrebna mobilna dizalica za postavljanje te pomicanje uređaja
- Dugotrajno postavljanje uređaja
- Potrebna posebna kolica za mehanizam za pročišćavanje vode
- Potrebna posebna kolica za spremnik komprimiranog zraka
- Dugotrajan prelazak uređaja s jedne strane pročelja na drugo
- Veća buka uređaja zbog ventilatora

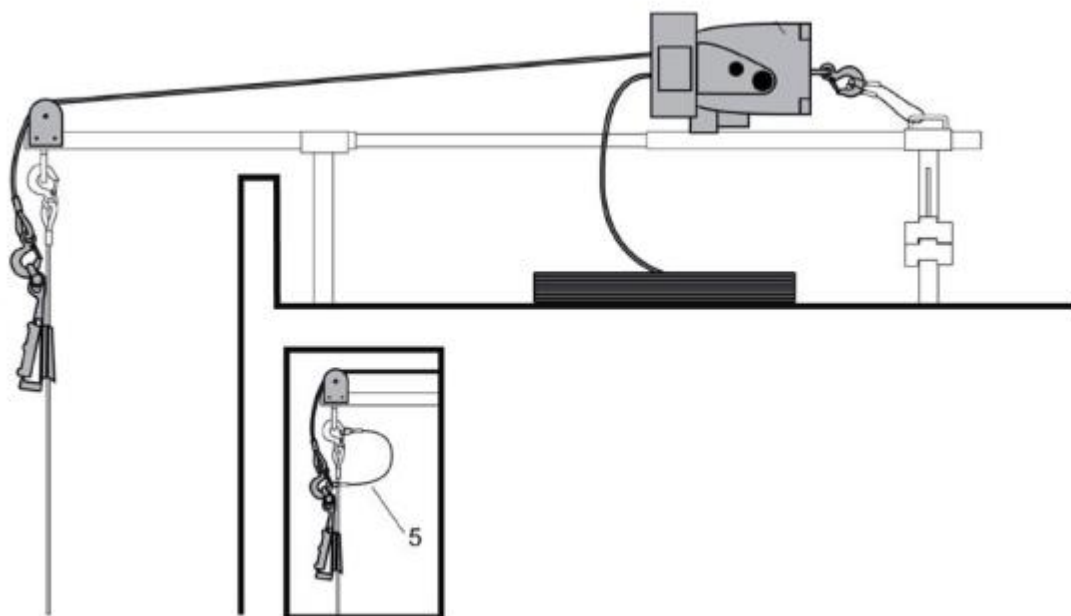
5.3.2. Koncept 2



Slika 35. Koncept 2



Slika 36. Koncept 2 – sustav za pročišćavanje vode



Slika 37. Koncept 2 - Dizalica

Princip rada :

Uređaj se postavlja na pročelje zgrade pomoću mobilne dizalice postavljene na krov zgrade. Nosiva konstrukcija uređaja te vertikalne i horizontalne ukrute izrađeni su u zavarenoj izvedbi od kvadratnih cijevi od nehrđajućeg čelika. Postupak čišćenja omogućuje se vodom putem mlaznica te rotirajuće četke. Mlaznice su postavljene iza rotirajuće četke čime se omogućuje efikasnije čišćenje staklene površine. Površina stakla čisti se pročišćenom vodom nakon čega brisač cijedi očišćenu površinu stakla. Sustav za pročišćavanje putem reverzne osmoze postavljen je na pokretnim kolicima [Slika 36] te se voda do uređaja doprema pomoću tlačnog crijeva. Vođenje uređaja omogućeno je pomoću gumenih kotača, dok se pomicanje samog uređaja vrši pomoću portalne dizalice na koju je uređaj ovješeno pomoću ovjesnog oka. Stalan kontakt sa površinom održava se pomoću dva ventilatora koji djeluju kao potisnici.

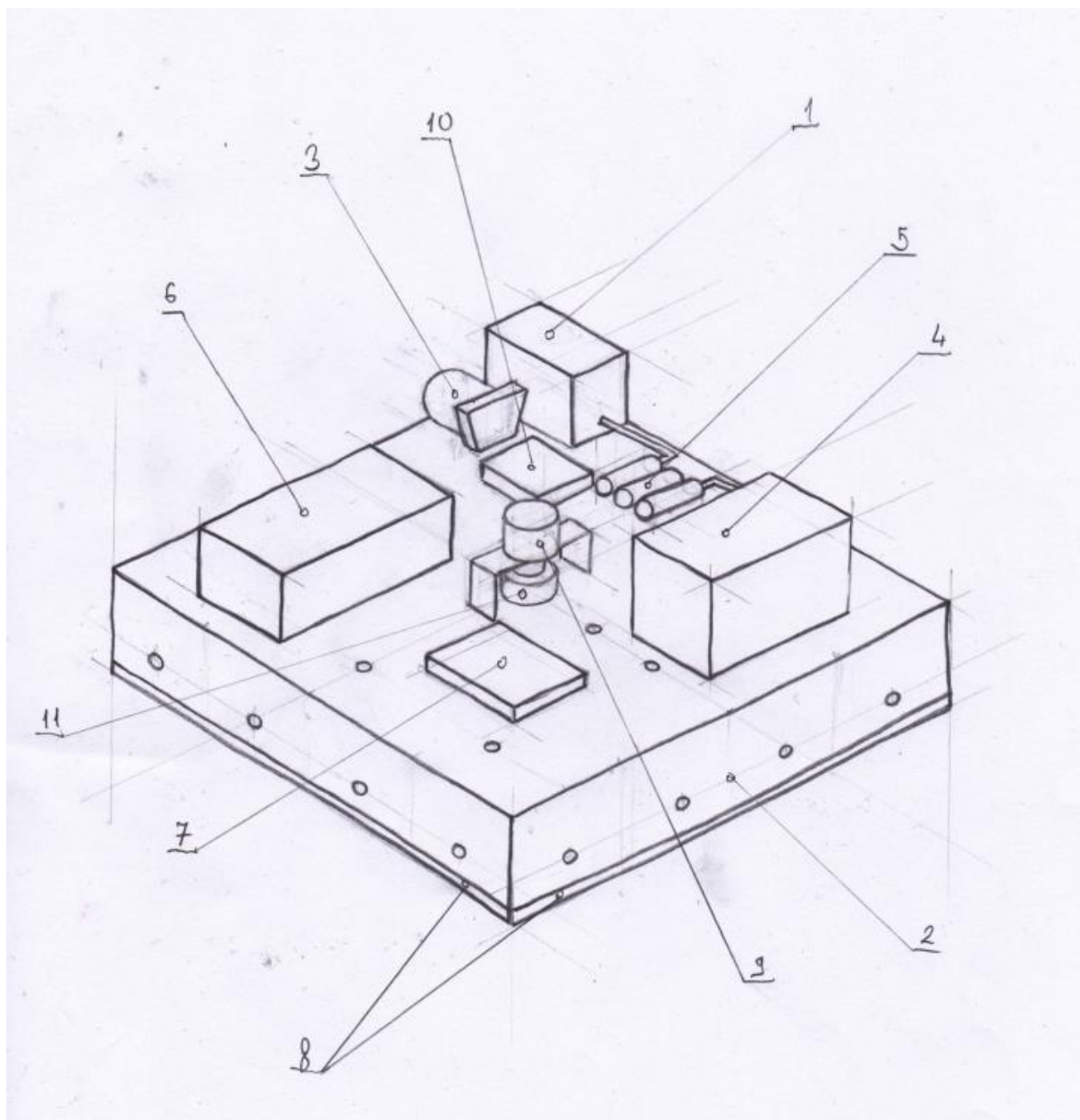
Prednosti:

- Velika brzina čišćenja
- Visoka efikasnost čišćenja
- Ekološki prihvatljiva metoda čišćenja
- Jednostavna izvedba uređaja

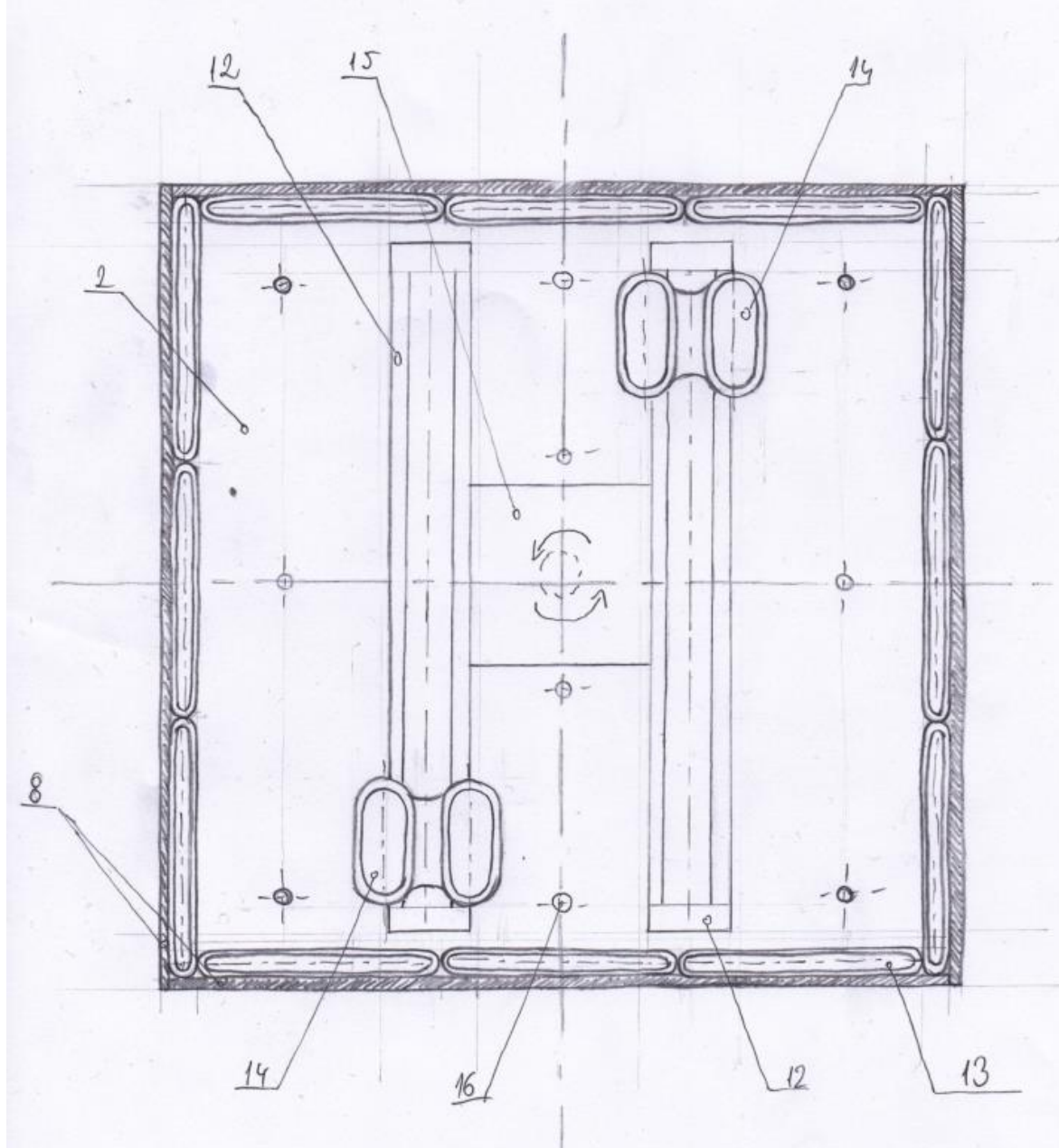
Nedostaci:

- Potrebna mobilna dizalica za postavljanje te pomicanje uređaja
- Dugotrajno postavljanje uređaja
- Potrebna posebna kolica za mehanizam za pročišćavanje vode
- Dugotrajan prelazak uređaja s jedne strane pročelja na drugo
- Veća buka uređaja zbog ventilatora i četke
- Veće prskanje vode
- Veća potrošnja vode

5.3.3. Koncept 3



Slika 38. Koncept 3 – gornji dio uređaja bez poklopca



Slika 39. Koncept 3 - donji dio uređaja / mehanizam kretanja

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1 – Spremnik vode | 9 – Elektromotor za rotaciju pogona |
| 2 – Nosiva konstrukcija | 10 – Kutija s ventilima za reguliranje vakuuma |
| 3 – Vakuumska pumpa | 11 – Rotacijski mehanizam |
| 4 – Generator pare | 12 – Elektromehanički linearni pogon s klizačem |
| 5 – Sustav pročišćavanja vode | 13 – Vakuumske hvataljke - nepokretne |
| 6 – Sustav napajanja | 14 – Vakuumske hvataljke - pokretne |
| 7 – PLC – upravljačka jedinica | 15 – Nosač linearnog pogonskog mehanizma |
| 8 – Gumeni brisač | 16 – Mlaznica vodene pare |

Princip rada:

Uređaj se postavlja na pročelje zgrade pomoću male dizalice ili ručno na bilo koji dio pročelja (krov ili podnožje). Uređaj je ima vrlo kompaktnu kvadarsku izvedbu koja omogućuje čišćenje pročelja do samih rubova. Postupak čišćenja započinje ulijevanjem vode iz vodovoda u spremnik vode (1) nakon čega slijedi pročišćavanje vode posebnim sustavom pročišćavanja putem obrnute osmoze (5). Pročišćena voda potom isparava pomoću isparivača (4) te se nabija na tlak čišćenja te dovodi do mlaznica (16) koje čiste staklenu površinu. Očišćena staklena površina cijedi se pomoću gumenih brisača (8) postavljenih na sva četiri donja brida uređaja čime se omogućuje kvalitetno čišćenje u dvije osi (x, y). Dodatno sušenje i sakupljanje preostale onečišćene vode sa površine stakla omogućuje se pomoću vakuumskih hvataljki (13) postavljenih po obodu uređaja gdje se takve kapljice vode pomoću vakuum pumpe odvede u sustav za pročišćavanje vode (5). Vođenje i kretanje uređaja omogućeno je pomoću pokretnih vakuumskih hvataljki (14) koje se mogu podešavati po visini pomoću ovjesnog mehanizma. Vakuumske hvataljke postavljene su tako da su po dvije pokretne hvataljke (14) postavljene na svaki klizač elektromehaničkog linearnog pogona čime se omogućuje kontinuirano gibanje u linearnoj osi. Potom se pomoću rotacijskog mehanizma (11) omogućuje rotacija pogonskog mehanizma, a time i gibanje uređaja po cijeloj površini staklenog pročelja. Nepokretne vakuumske hvataljke ostaju u stalnom kontaktu sa staklenom površinom čime se osigurava stabilnost uređaja. Upravljanje uređajem vrši se pomoću daljinskog upravljača koji prima signale od uređaja.

Prednosti:

- Velika brzina čišćenja
- Visoka efikasnost čišćenja
- Ekološki prihvatljiva metoda čišćenja
- Kompaktna izvedba uređaja
- Nije potrebna mobilna dizalica za postavljanje te pomicanje uređaja
- Relativno miran rad
- Autonomno pomicanje uređaja i čišćenje u dvije osi
- Mala potrošnja vode
- Brzo postavljanje uređaja
- Sigurno vođenje uređaja

Nedostaci:

- Kompleksnija izvedba pokretnog mehanizma
- Veći broj pokretnih dijelova
- Veći investicijski troškovi
- Više elektroničnih komponenti

5.3.4. *Evaluacija koncepata*

Tablica 7. Evaluacija koncepata

| Glavne potrebe korisnika | Koncept 1 | Koncept 2 | Koncept 3 |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Kvaliteta čišćenja staklenih površina | 10 | 10 | 10 |
| Efikasnost čišćenja | 9 | 10 | 9 |
| Sigurno vođenje i upravljanje uređaja | 7 | 7 | 7 |
| Investicijski troškovi | 6 | 5 | 5 |
| Ekološki prihvatljivo čišćenje | 10 | 10 | 10 |
| Cijena održavanja i servisiranja | 6 | 7 | 5 |
| Životni vijek | 8 | 8 | 8 |
| Generiranje buke i utjecaj na okolinu | 4 | 3 | 7 |
| Jednostavnost uporabe | 5 | 5 | 7 |
| Estetika | 2 | 2 | 6 |

Ukupna ocjena koncepata dobije se umnoškom ocjene važnosti sa ocjenom koncepta prema definiranim potrebama korisnika prema kojoj slijedi:

- Koncept 1 – 425
- Koncept 2 – 429
- Koncept 3 – 430

Na temelju potreba korisnika i generiranja koncepata odabire se Koncept 3 kao najbolji.

Glavna prednost ovoga koncepta je mogućnost potpuno autonomnog kretanja te čišćenja u dvije osi uz zadovoljavajuću učinkovitost čišćenja. Velika prednost je i mogućnost jednostavnog postavljanja uređaja na pročelje zgrade te vrlo kompaktna izvedba. Uređaj je ekološki vrlo prihvatljiv jer za čišćenje koristi sustav obratne osmoze. Posebnost ovog uređaja predstavlja i način cijedenja staklenih površina pomoću 4 gumena brisača te sustavom usisavanja samih kapljica preostale onečišćene vode. Upravljanje ovakvim uređajem je sigurno i dovoljna je samo jedna adekvatno osposobljena osoba za upravljanje. Vibracije i buka koje generira ovakav uređaj smanjeni su na prihvatljivu razinu pomoću izoliranog kućišta što predstavlja značajnu prednost u odnosu na ostale koncepte. Relativni nedostatak ovog koncepta odnosno ovakvog

uređaja za čišćenje staklenog pročelja predstavljaju veći investicijski troškovi te sama kompleksnija izvedba pokretnog mehanizma. Obzirom na sve prednosti koje ovakav uređaj ima te inovativnost samog uređaja u vidu potpune autonomnosti u radu i korištenjem vodene pare za čišćenje čime je poprilično smanjena potrošnja vode, a time i troškovi održavanja zaključujem da je ovaj koncept najprihvatljiviji i u nastavku će slijediti njegova detaljna razrada.

6. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA ODABRANOG KONCEPTA

Odabirom koncepta 3 kao najpovoljnijeg kreće se u njegovu detaljniju konstrukcijsku razradu. Koncept 3 najviše odstupa od ostalih koncepata jer je potpuno autonoman tj. svi pogonski uređaji uključujući i izvor energije (baterije) nalaze se na samom uređaju. Na taj način omogućeno je brže i lakše postavljanje uređaja na pročelje zgrade te je moguće puno lakše vođenje i upravljanje uređajem. Obzirom na količinu i složenost pogonskih uređaja na te na samu postupak čišćenja staklenih pročelja potrebno je uvesti dodatne pretpostavke kako bi uređaj bio izvediv.

PRETPOSTAVKE:

- Brzina čišćenja, $v_{\text{čiš}} = 6 \text{ m/min} = 0,1 \text{ m/s}$
- Potrošnja vode, $q_{mv} = 3 \text{ l/h} = 0,05 \text{ l/s}$
- Kapacitet baterije dovoljan za čišćenje u trajanju od min. 1 h
- Čišćenje jedne strane pročelja u kontinuitetu
- Pretpostavljena masa uređaja, $m_{\text{pret}} = 200 \text{ kg}$
- Čišćenje ravnih površina staklenog pročelja
- Omogućen prelazak preko aluminijskih okvira staklenog pročelja
- Čišćenje sustavom reverzne osmoze
- Čišćenje parom
- Kontakt te držanje uređaja za staklene površine ostvaruje se vakuumom sa potrebnom regulacijom pomoću ventila

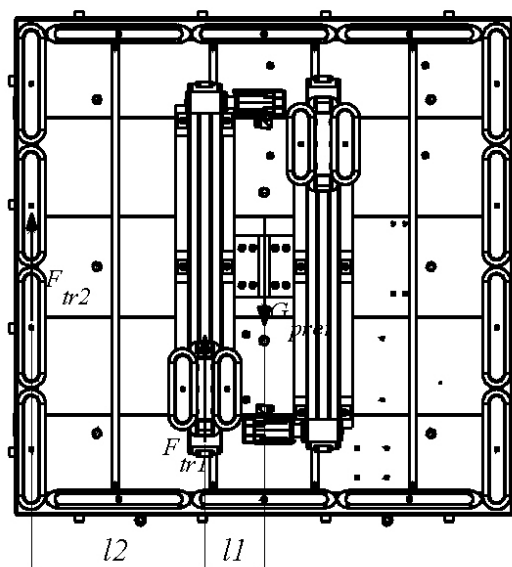
Ostali potrebni parametri za odabir pojedinih uređaja biti će definirani tijekom proračuna određenog pogonskog uređaja.

6.1. Proračun pogonskog mehanizma

Pogonski mehanizam uređaja proračunava se obzirom na željenu brzinu čišćenja, $v_{\text{čiš}}$ koja iznosi 6 m/min odnosno 0,1 m/s. Pogonski mehanizam treba omogućiti kontinuirano linearno gibanje te rotaciju za minimalno 90° kako bi bilo moguće kretanje uređaja u svim smjerovima po pročelju zgrade.

6.1.1. Linearni pogon

Opterećenje mehanizma za linearno gibanje prikazuje slika 40.



Slika 40. Opterećenje mehanizma za linearno gibanje

Aksijalna sila potrebna za pogon linearnog mehanizma određuje se prema izrazu:

$$F_{aks} = F_{tr1} + F_{tr2} + G_{pret} \quad (2)$$

Gdje je:

F_{tr1} – sila trenja na nepokretnim vakuumskim hvataljkama na nosivoj konstrukciji

F_{tr2} – sila trenja na pokretnim vakuumskim hvataljkama

G_{pret} – pretpostavljena težina uređaja

Sile trenja na nepokretnim i pokretnim vakuumskim hvataljkama određuju se iz ravnoteže momenta i sila u vertikalnom smjeru prema izrazima:

$$F_{tr2} \cdot l_2 = G_{pret} \cdot l_1 \quad (3)$$

Iz kojeg se izvodi izraz za silu trenja na nepokretnim vakuumskim hvataljkama:

$$F_{tr2} = G \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (4)$$

Gdje je:

F_{tr1} – sila trenja na nepokretnim vakuumskim hvataljkama na nosivoj konstrukciji

F_{tr2} – sila trenja na pokretnim vakuumskim hvataljkama

G_{pret} – pretpostavljena težina uređaja

l_1 – udaljenost između sile težine uređaja i pokretnih hvataljki

l_2 – udaljenost između sile trenja nepokretnih hvataljki i pokretnih hvataljki

Sila trenja na pokretnim vakuumskim hvataljkama određuje se iz izraza :

$$F_{tr1} = G - F_{tr2} \quad (5)$$

Težina uređaja određuje se prema izrazu :

$$G = m_{pret} \cdot g \quad (6)$$

Gdje je:

m_{pret} – pretpostavljena masa uređaja

g – ubrzanje zemljine sile teže

U izraz (6) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$m_{pret} = 200 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$G = 200 \cdot 9,81 = 1962 \text{ N}$$

U izraze (4) i (5) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pret} = 1962 \text{ N}$$

$$l_1 = 191 \text{ mm}$$

$$l_2 = 561 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$F_{tr2} = 1962 \cdot \frac{191}{561} = 668 \text{ N}$$

$$F_{tr1} = 1962 - 668 = 1294 \text{ N}$$

U izraz (2) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pret} = 1962 \text{ N}$$

$$F_{tr1} = 1294 \text{ N}$$

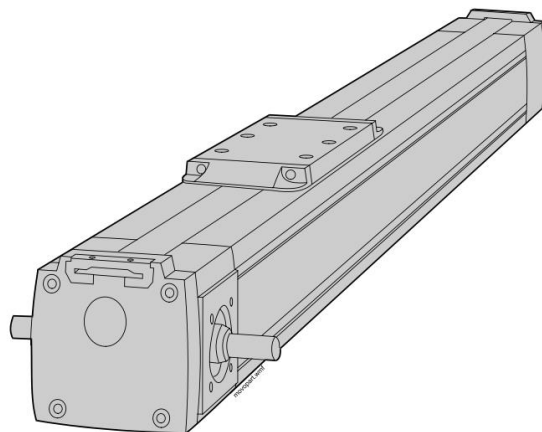
$$F_{tr2} = 668 \text{ N}$$

Pri čemu se dobiva:

$$F_{aks} = 1294 + 668 + 1962 = 3924 \text{ N}$$

6.1.1.1. Odabir kugličnog vretena

Prema izračunatoj maksimalnoj aksijalnoj sili, $F_{aks} = F_v = 3924 \text{ N}$ potrebnoj za pogon linearnog mehanizma odabire se prema [11] linearna jedinica sa kugličnim vretenom i klizačem MF100 tvrtke THOMSON [Slika 41.] i preporučenim pogonskim servo motorom AKM 41X tvrtke KOLLMORGEN [Slika 42.].



Slika 41. Linearna jedinica THOMSON MF100



Slika 42. Servo motor KOLLMORGEN AKM 41X

Linearna jedinica i servo motor isporučuju se zajedno sa spojkom i prijenosnikom putem para stožnika i cijeli sklop je potpuno zaštićen od utjecaja vode, vlage i prašine. Karakteristike

linearne jedinice THOMSON MF100 prikazane su u tablici 8, a karakteristike servo motora KOLLMORGEN AKM 41X u tablici 9.

Tablica 8. Karakteristike linearne jedinice sa kugličnim vretenom, prema [11]

| Specifikacije | THOMSON MF100 |
|---|---------------------------------|
| Dimenzije presjeka, w x h (mm) | 108 x 100 |
| Tip vretena | Kuglično vreteno / jedna matica |
| Duljina koraka vretena (mm) | 900 |
| Maksimalna brzina (m/s) | 1,25 |
| Maksimalna akceleracija (m/s ²) | 8 |
| Temperatura primjene (°C) | -20 - 70 |
| Maksimalno dinamičko opterećenje, F_x (N) | 5000 |
| Maksimalno dinamičko opterećenje, F_y (N) | 3000 |
| Maksimalno dinamičko opterećenje, F_z (N) | 3000 |
| Maksimalni moment opterećenja, M_x (Nm) | 120 |
| Maksimalni moment opterećenja, M_y (Nm) | 275 |
| Maksimalni moment opterećenja, M_z (Nm) | 275 |
| Promjer vretena (mm) | 25 |
| Uspon vretena | 10 |
| Masa linearne jedinice sa nosačima (kg) | 15,5 |

Tablica 9. Specifikacije servo motora Kollmorgen AKM 41X, prema [12]

| Specifikacije | Kollmorgen AKM 41X |
|--|--------------------|
| Optimalni moment (Nm) | 6 |
| Maksimalni moment | 20,6 |
| Nazivna brzina vrtnje (min ⁻¹) | 3000 |
| Snaga (W) | 480 |
| Izvor struje | DC |
| Kočnica | Da |
| Masa (kg) | 2,44 |

6.1.1.2. Proračun vijaka za pričvršćenje nosive konstrukcije linearnog pogona

Vijci za pričvršćenje nosive konstrukcije linearnog pogona opterećeni su smično prema izrazu:

$$\tau_{s,v} = \frac{F_{max}}{A_j} = \frac{F_{max}}{\frac{d_v^2 \cdot \pi}{4}} \leq \tau_{dop,v} \quad (7)$$

Gdje je:

F_{max} – najveća sila na vijku

d_v – nazivni promjer vijka

$\tau_{dop,v}$ – dopušteno smično naprezanje

Kvaliteta vijka odabrana je IT 6.8 iz koje slijedi da je granica tečenja jednaka:

$$R_e = 480 \text{ N/mm}^2$$

Iz čega slijedi da je dopušteno smično naprezanje prema [2]:

$$\tau_{dop,v} = 90 \text{ N/mm}^2$$

Iz izraza (7) izvodi se izraz za potreban promjer vijka:

$$d_v \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{max}}{\tau_{dop,v} \cdot \pi}} \quad (8)$$

U izraz (8) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$F_{max} = G_{pret} = 1962 \text{ N}$$

$$\tau_{dop,v} = 90 \text{ N/mm}^2$$

pri čemu se dobiva:

$$d_v \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1962}{90 \cdot \pi}} = 5,27 \text{ mm}$$

Odabran vijak M12 IT 6.8

Potreban broj vijaka određuje se prema izrazu:

$$n_v \geq \frac{F_{max}}{\tau_{dop,v} \cdot A_j} \quad (9)$$

Gdje je:

F_{max} – najveća sila na vijku

A_j – površina presjeka jezgre vijka

$\tau_{dop,v}$ - dopušteno smično naprezanje

a – udaljenost reakcijske sile u osloncu A od oslonca B

b – udaljenost sile težine pogonskog uređaja od oslonca B

U izraz (9) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$F_{max} = 1962 \text{ N}$$

$$\tau_{dop} = 90 \text{ N/mm}^2, \text{ prema [2]}$$

$$A_j = 76,2 \text{ mm}^2, \text{ prema [1]}$$

pri čemu se dobiva:

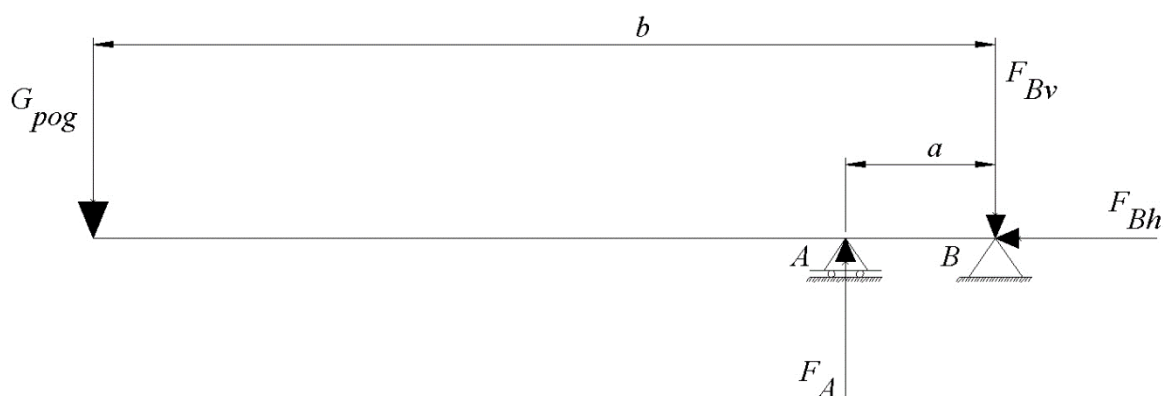
$$n_v \geq \frac{1962}{90 \cdot 76,2} = 0,286$$

Iz konstrukcijskih razloga, radi lakšeg rukovanja odabrano $n = 4$ odnosno odabrana 3 vijka M12 IT 6.8

6.1.2. Rotacijski pogon

6.1.2.1. Dimenzioniranje vratila

Opterećenje vratila za rotaciju prikazuje slika 43. Vratilo je uležišteno konzolno zbog male duljine vratila i jednostavnijeg montiranja.



Slika 43. Opterećenje vratila

- Određivanje reakcija u osloncima

Prema slici 43 reakcije u osloncima izračunavaju se iz ravnoteže momenata i sila prema izrazima:

$$F_A \cdot a = G_{pog} \cdot b \quad (10)$$

$$F_A - F_{Bv} = G_{pog} \quad (11)$$

$$F_{Bh} = 2G_{pog}$$

Iz kojih se izводе izrazi za reakcije u osloncima A i B:

$$F_A = G_{pog} \cdot \frac{b}{a} \quad (12)$$

$$F_{Bv} = F_A - G_{pog} \quad (13)$$

Gdje je :

F_A – sila u osloncu A

F_{Bv} – vertikalna sila u osloncu B

F_{Bh} – horizontalna sila u osloncu B

G_{pog} – težina pogonskog mehanizma

Težina pogonskog mehanizma izračunava se prema izrazu:

$$G_{pog} = (m_{LP} + m_{SMLP} + m_{NKLP}) \cdot g \quad (14)$$

Gdje je:

m_{LP} – masa linearnog pogonskog mehanizma

m_{SMLP} – masa servo motora za linearni pogon

m_{NKLP} – masa nosive konstrukcije linearnog pogona

g – ubrzanje zemljine sile teže

U izraz (14) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$m_{LP} = 15,5 \text{ kg}$$

$$m_{SMLP} = 2,44 \text{ kg}$$

$$m_{NKLP} = 3,5 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$G_{pog}(15,5 + 2,44 + 3,5) \cdot 9,81 = 210,3 \text{ N} \approx 211 \text{ N}$$

U izraze (10) i (11) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$a = 25 \text{ mm}$$

$$b = 150,5 \text{ mm}$$

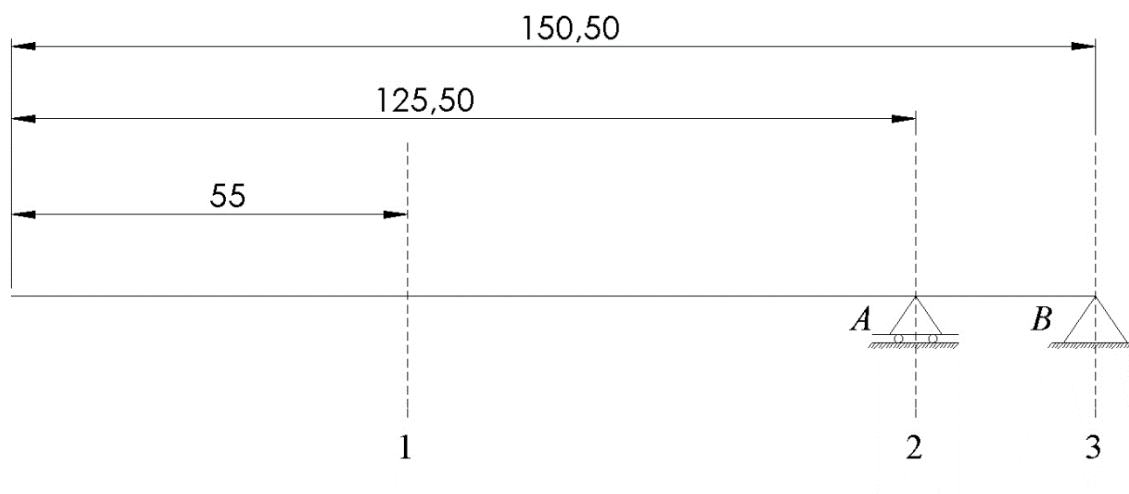
Pri čemu se dobiva:

$$F_A = 211 \cdot \frac{150}{25} = 1266 \text{ N}$$

$$F_{Bv} = 1266 - 211 = 1055 \text{ N}$$

$$F_{Bh} = 2 \cdot 211 = 422 \text{ N}$$

- Proračun idealnog oblika vratila



Slika 44. Presjeci idealnog oblika vratila

Za materijal vratila odabran je čelik S355JR (Č.0561) čija su svojstva prema [2]:

$$\sigma_{fDN\,dop} = 50 \text{ N/mm}^2 - \text{dopušteno savojno naprezanje}$$

$$\tau_{t\,dop} = 40 \text{ N/mm}^2 - \text{dopušteno torzijsko naprezanje}$$

$$\sigma_{fDN} = 240 \text{ N/mm}^2 - \text{trajna dinamička čvrstoća na savijanje pri naizmjeničnom opterećenju}$$

$$\tau_{tDI} = 190 \text{ N/mm}^2 - \text{trajna dinamička čvrstoća na uvijanje pri istosmjernom opterećenju}$$

Promjeri vratila u presjecima koji su istovremeno opterećeni na savijanje i uvijanje određuju se prema izrazu:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{red}}{\sigma_{fDN\,dop}}} \quad (15)$$

Gdje je:

d – promjer vratila na određenom presjeku, prema [2]

M_{red} – reducirani moment, prema [2]

$\sigma_{fDN\,dop}$ – dopušteno savojno naprezanje, prema [2]

Reducirani moment određuje se prema izrazu:

$$M_{red} = \sqrt{M^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T)^2} \quad (16)$$

Gdje je:

M – moment savijanja promatranog presjeka, prema [2]

T – moment uvijanja koji opterećuje promatrani presjek

α_0 – faktor čvrstoće materijala vratila obzirom na način njegova opterećenja,
prema [2]

Faktor čvrstoće materijala vratila određuje se prema izrazu:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDI}} \quad (17)$$

U izraz (34) uvrštavaju se brojčane vrijednosti prema [2], pri čemu se dobiva:

$$\alpha_0 = \frac{240}{1,73 \cdot 190} = 0,73$$

Moment savijanja na promatranom presjeku određuje se prema izrazu:

$$M_x = F \cdot x \quad (18)$$

Gdje je:

F – Sila koja opterećuje promatrani presjek, prema [2]

x – krak sile na promatranom presjeku

Moment uvijanja vratila određuje se prema izrazu:

$$T = G_{pog} \cdot s \quad (19)$$

Gdje je:

G_{pog} – težina pogonskog mehanizma

s – krak sile težine pogonskog mehanizma

U izraz (19) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$s = 191 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$T = 211 \cdot 191 = 40301 \text{ Nmm} = 40,3 \text{ Nm}$$

Svi presjeci (1..3) napregnuti su istovremeno savojno i torzijski

Presjek 1

U izraze (15), (16) i (18) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$x_1 = 0,055 \text{ m}$$

$$F = G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$T = 40,3 \text{ Nm}$$

pri čemu se dobiva:

$$M_1 = 211 \cdot 0,055 = 11,605 \text{ Nm} = 11605 \text{ Nmm}$$

$$M_{red1} = \sqrt{11605^2 + 0,75 \cdot (0,73 \cdot 40300)^2} = 25478 \text{ Nmm}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 25478}{50}} = 17,21 \text{ mm}$$

Presjek 2

U izraze (15), (16) i (18) uvrstavaju se sljedeće brojčane vrijednosti:

$$x_2 = 0,1255 \text{ m}$$

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$T = 40,3 \text{ Nm}$$

pri čemu se dobiva:

$$M_2 = 211 \cdot 0,1255 = 26,48 \text{ Nm} = 26480 \text{ Nmm}$$

$$M_{red2} = \sqrt{26480^2 + 0,75 \cdot (0,73 \cdot 40300)^2} = 36746 \text{ Nmm}$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 36746}{50}} = 19,44 \text{ mm}$$

Presjek 3

U izraze (15), (16) i (18) uvrstavaju se brojčane vrijednosti:

$$x_3 = 0,1505 \text{ m}$$

$$F_A = 1266 \text{ N}$$

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$T = 40,3 \text{ Nm}$$

pri čemu se dobiva:

$$M_3 = 211 \cdot 0,105 - 1266 \cdot 0,025 = 9,495 \text{ Nm} = 9495 \text{ Nmm}$$

$$M_{red3} = \sqrt{9495^2 + 0,75 \cdot (0,73 \cdot 40300)^2} = 27189 \text{ Nmm}$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 27189}{50}} = 17,58 \text{ mm}$$

Iz konstrukcijskih i tehnoloških razloga odabrani su sljedeći promjeri vratila

$$d_1 = 30 \text{ mm}$$

$$d_2 = 35 \text{ mm}$$

$$d_3 = 30 \text{ mm}$$

- Odabir ležajeva

Ležajevi oslonaca opterećeni su radijalnim silama :

$$F_A = 1266 \text{ N}$$

$$F_{Bv} = 1055 \text{ N}$$

Ležaj oslonca B opterećen je u stanju mirovanja aksijalnom silom koja se računa prema izrazu:

$$F_a = F_{Bh} = 2 \cdot G_{pog} \quad (20)$$

U izraz (20) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

Pri čemu se dobiva:

$$F_a = 2 \cdot 211 = 422 \text{ N}$$

Obzirom na iznose radijalnih sila i aksijalne sile te male duljine vratila iz konstrukcijskih razloga odabire se dvoredni kuglični ležaj sa kućištem prema [13]:

Kućište ležaja F11207 sa ležajem 11207

Dinamička nosivost ležaja iznosi prema [13]:

$$C = 19400 \text{ N}$$

Ekvivalentno opterećenje ležaja određuje se prema izrazu:

$$P = F_r + y \cdot F_a \quad (21)$$

Gdje je:

F_r – radijalna sila

F_a – aksijalna sila

y – aksijalni faktor ležaja, prema [13]

U izraz (21) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$F_r = 1266 \text{ N}$$

$$F_a = 422 \text{ N}$$

$$y = 3,04, \text{ prema [13]}$$

Pri čemu se dobiva:

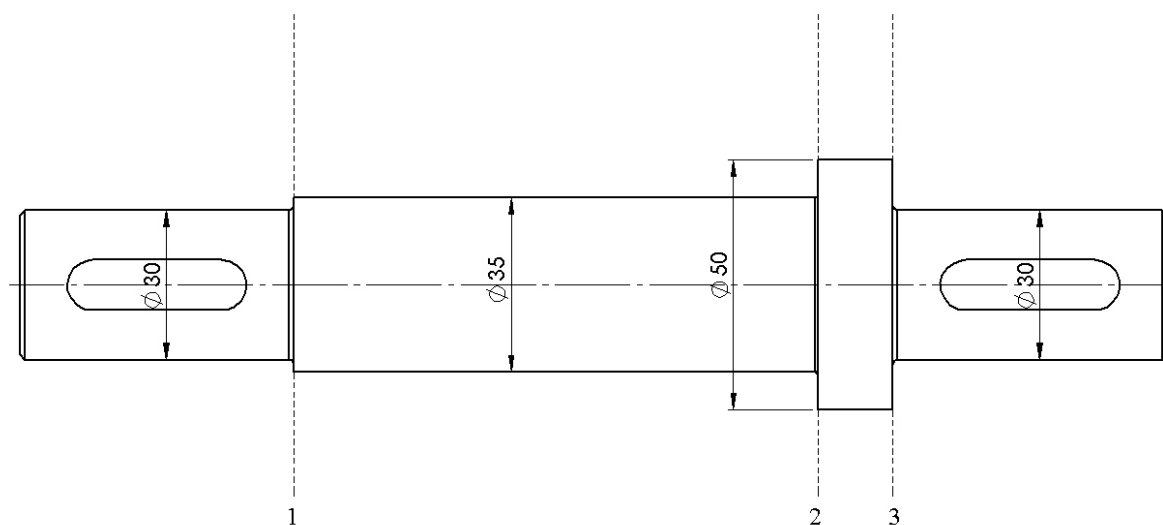
$$P = 1266 + 3,04 \cdot 422 = 2549 \text{ N}$$

$$C_1 \leq C = 19400 \text{ N}$$

$$C = 2549 \text{ N} \leq 19400 \text{ N}$$

Ležaj zadovoljava.

- Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti vratila



Slika 45. Stupnjevano vratilo pogonskog mehanizma

Opterećenje vratila momentima u pojedinim presjecima računa se prema izrazu:

$$M_{red} = \sqrt{(M \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T \cdot \beta_{kt})^2} \quad (22)$$

Gdje je:

M – moment savijanja promatranog presjeka, prema [2]

T – moment uvijanja koji opterećuje promatrani presjek, prema [2]

α_0 – faktor čvrstoće materijala vratila obzirom na način njegova opterećenja, prema [2]

β_{kf} – faktor zareznog djelovanja kod savijanja, prema [2]

β_{kt} – faktor zareznog djelovanja kod uvijanja, prema [2]

Moment savijanja za pojedini presjek određen je izrazom (18).

Postojeća sigurnost u svakom presjeku određena je izrazom prema [2]:

$$S_{post} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\varphi \cdot \sigma_{red}} \geq S_{potr} \quad (23)$$

Gdje je:

b_1 – faktor veličine, prema [2]

b_2 – faktor kvalitete površine, prema [2]

σ_{fDN} – trajna dinamička čvrstoća na savijanje pri naizmjeničnom opterećenju, prema [2]

φ – faktor udara, prema [2]

σ_{red} – reducirano naprezanje na presjeku, prema [2]

S_{potr} – potrebna sigurnost, $f(TP\%, h_{bmax}\%)$, prema [2]

Reducirano naprezanje na presjeku određeno je izrazom prema [2]:

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red}}{W} \quad (24)$$

Gdje je:

M_{red} – reducirani moment , prema [2]

W – moment otpora presjeka, prema [2]

Moment otpora presjeka određen je izrazom prema [1]:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (25)$$

Gdje je:

d – promjer presjeka vratila

Presjek 1

U izraz (18) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$x_1 = 0,055 \text{ mm}$$

$$F = G_{pog} = 211 \text{ N}$$

pri čemu se dobiva:

$$M_1 = 211 \cdot 0,055 = 11,605 \text{ Nm} = 11605 \text{ Nmm}$$

Na presjeku 1 zarezno djelovanje uzrokovano promjenom veličine presjeka:

β_{kf} određen je izrazom prema [3]:

$$\beta_{kf} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) \quad (26)$$

U izraz (26) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$c_1 = 0,38, \text{ prema [3] } (D/d = 1,1667)$$

$$\beta_{kf2} = 1,5, \text{ prema [3] } (\rho/d = 0,1 \text{ i } Rm = 500 \text{ N/mm}^2 - \text{S355 JR})$$

pri čemu se dobiva:

$$\beta_{kf} = 1 + 0,38 \cdot (1,5 - 1) = 1,19$$

β_{kt} određen je izrazom prema [3]:

$$\beta_{kt} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) \quad (27)$$

U izraz (27) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$c_2 = 0,72, \text{ prema [3] } (D/d = 1,1667)$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,2, \text{ prema [3] } (\rho/d = 0,1 \text{ i } Rm = 500 \text{ N/mm}^2 - \text{S355 JR})$$

pri čemu se dobiva:

$$\beta_{kt} = 1 + 0,72 \cdot (1,2 - 1) = 1,14$$

U izraz (22) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$M_1 = 11605 \text{ Nmm}$$

$$\alpha_0 = 0,73$$

$$T = 40,3 \text{ Nm} = 40300 \text{ Nmm}$$

$$\beta_{kf} = 1,19$$

$$\beta_{kt} = 1,14$$

pri čemu se dobiva:

$$M_{red1} = \sqrt{(11605 \cdot 1,19)^2 + 0,75 \cdot (0,73 \cdot 40300 \cdot 1,14)^2} = 32161 \text{ Nmm}$$

U izraz (25) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$d_1 = 30 \text{ mm}$$

pri čemu se dobiva:

$$W = \frac{\pi \cdot 30^3}{32} = 2650,72 \text{ mm}^3$$

U izraz (24) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$M_{red1} = 32161 \text{ Nmm}$$

$$W = 2650,72 \text{ mm}^3$$

pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{red1} = \frac{32161}{2650,72} = 12,13 \text{ N/mm}^2$$

U izraz (23) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$b_1 = 0,9, \text{ prema [3]}$$

$$b_2 = 0,92, \text{ prema [3]}$$

$$\sigma_{fDN} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\varphi = 1$$

$$\sigma_{red1} = 12,13 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{pot} = 5, \text{ prema [2]}$$

pri čemu se dobiva:

$$S_{post} = \frac{0,9 \cdot 0,92 \cdot 240}{1 \cdot 12,13} = 16,38 \geq 5$$

Presjek 2

U izraz (18) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$x_2 = 0,125 \text{ m}$$

$$F = G_{pog} = 211 \text{ N}$$

pri čemu se dobiva:

$$M_2 = 211 \cdot 0,125 = 26,375 \text{ Nm} = 26375 \text{ Nmm}$$

Na presjeku 2 zarezno djelovanje uzrokovano je promjenom veličine presjeka

U izraz (22) uvrštavaju brojčane vrijednosti:

$$M_2 = 26375 \text{ Nmm}$$

$$\alpha_0 = 0,73$$

$$T = 40,3 \text{ Nm}$$

$$\beta_{k_f} = 1,8$$

$$\beta_{k_t} = 1,9$$

pri čemu se dobiva:

$$M_{red2} = \sqrt{(26375 \cdot 1,8)^2 + 0,75 \cdot (0,73 \cdot 40300 \cdot 1,9)^2} = 67802 \text{ Nmm}$$

U izraz (25) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$d_2 = 35 \text{ mm}$$

pri čemu se dobiva:

$$W = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4209,24 \text{ mm}^3$$

U izraz (24) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$M_{red2} = 67802 \text{ Nmm}$$

$$W = 4209,24 \text{ mm}^3$$

pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{red2} = \frac{67802}{4209,24} = 16,108 \text{ N/mm}^2$$

U izraz (23) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$b_1 = 0,87, \text{ prema [3]}$$

$$b_2 = 0,85, \text{ prema [3]}$$

$$\sigma_{f_{DN}} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\varphi = 1$$

$$\sigma_{red2} = 16,108 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{pot} = 5, \text{ prema [3]}$$

pri čemu se dobiva:

$$S_{post} = \frac{0,87 \cdot 0,85 \cdot 240}{1 \cdot 16,108} = 11,1 \geq 5$$

Presjek 3

U izraz (18) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$x_3 = 0,175 \text{ m}$$

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$F_A = 1266 \text{ N}$$

pri čemu se dobiva:

$$M_3 = 211 \cdot 0,175 - 1266 \cdot 0,05 = 26,375 \text{ Nm} = 26375 \text{ Nmm}$$

Na presjeku 1 zarezno djelovanje uzrokovano je promjenom veličine presjeka:

β_{kf} određen je izrazom (26) :

$$\beta_{kf} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1)$$

U izraz (26) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$c_1 = 0,9, \text{ prema [3] } (D/d = 1,67)$$

$$\beta_{kf2} = 2, \text{ prema [3] } (\rho/d = 0,033 \text{ i } Rm = 500 \text{ N/mm}^2 - \text{S355 JR})$$

pri čemu se dobiva:

$$\beta_{kf} = 1 + 0,9 \cdot (2 - 1) = 1,9$$

β_{kt} određen je izrazom (27) :

$$\beta_{kt} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1)$$

U izraz (27) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$c_2 = 1, \text{ prema [3] } (D/d = 1,67)$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,6, \text{ prema [3] } (\rho/d = 0,033 \text{ i } Rm = 500 \text{ N/mm}^2 - \text{S355 JR})$$

pri čemu se dobiva:

$$\beta_{kt} = 1 + 1 \cdot (1,6 - 1) = 1,6$$

U izraz (22) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$M_3 = 26375 \text{ Nmm}$$

$$\alpha_0 = 0,73$$

$$T = 40,3 \text{ Nm} = 40300 \text{ Nmm}$$

$$\beta_{kf} = 1,9$$

$$\beta_{kt} = 1,6$$

pri čemu se dobiva:

$$M_{red3} = \sqrt{(26375 \cdot 1,9)^2 + 0,75 \cdot (0,73 \cdot 40300 \cdot 1,6)^2} = 64599 \text{ Nmm}$$

U izraz (25) uvrštavaju se sljedeće brojne vrijednosti:

$$d_3 = 30 \text{ mm}$$

pri čemu se dobiva:

$$W = \frac{\pi \cdot 30^3}{32} = 2650,72 \text{ mm}^3$$

U izraz (24) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$M_{red3} = 64599 \text{ Nmm}$$

$$W = 2650,72 \text{ mm}^3$$

pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{red3} = \frac{64599}{2650,22} = 24,37 \text{ N/mm}^2$$

U izraz (23) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$b_1 = 0,87, \text{ prema [3]}$$

$$b_2 = 0,85, \text{ prema [3]}$$

$$\sigma_{fDN} = 240 \text{ N/mm}^2$$

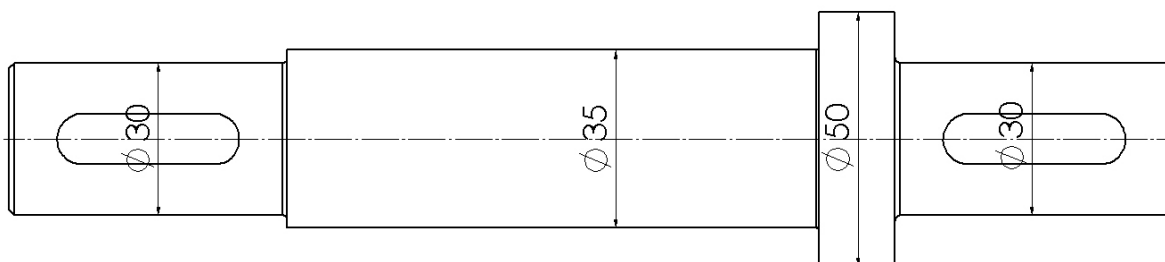
$$\varphi = 1$$

$$\sigma_{red3} = 24,37 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{pot} = 5, \text{ prema [3]}$$

pri čemu se dobiva:

$$S_{post} = \frac{0,87 \cdot 0,85 \cdot 240}{1 \cdot 24,37} = 7,3 \geq 5$$



Slika 46. Konačni oblik vratila pogonskog mehanizma

- Odabir elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma

Odabir potrebnog elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma izvršiti će se prema izračunatom momentu vrtnje i pretpostavljenim brojem okretaja. Obzirom na težinu i dimenzije samog pokretnog mehanizma te uvjete u kojima uređaj radi pretpostavlja se mali broj okretaja.

Potrebna snaga elektromotora određuje se izrazom:

$$P_{EM} \geq P_{rot} \quad (28)$$

Gdje je:

P_{rot} – snaga potrebna za rotaciju pogonskog mehanizma

Snaga potrebna za rotaciju pogonskog mehanizma određuje se prema izrazu:

$$P_{rot} = M_{rot} \cdot \omega \quad (29)$$

Gdje je:

M_{rot} – moment ostvaren djelovanjem sile težine linearnog pogona na kraku s

ω – kutna brzina definirana pretpostavljenim brojem okretaja

Moment ostvaren djelovanjem sile težine linearnog pogona određuje se izrazom:

$$M_{rot} = G_{pog} \cdot s \quad (30)$$

Gdje je:

G_{pog} – težina pogonskog mehanizma

s – krak sile težine pogonskog mehanizma

U izraz (30) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$s = 191 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$M_{rot} = 211 \cdot 191 = 40301 \text{ Nmm} = 40,3 \text{ Nm}$$

Kutna brzina, ω određuje se izrazom:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (31)$$

Gdje je:

n – pretpostavljeni broj okretaja

Pretpostavljeni broj okretaja uzima se:

$$n = 5 \text{ min}^{-1} = 0,083 \text{ s}^{-1}$$

U izraz (31) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$n = 5 \text{ min}^{-1} = 0,083 \text{ s}^{-1}$$

Pri čemu se dobiva:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,083 = 5,22 \text{ rad/s}$$

U izraz (29) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$\omega = 5,22 \text{ rad/s}$$

$$M_{rot} = 40,3 \text{ Nm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$P_{rot} = 40,3 \cdot 5,22 = 210,36 \text{ W}$$

Obzirom na dobivenu snagu potrebnu za rotaciju pogonskog mehanizma, P_{rot} i broj okretaja, n odabire se servo motor sa kočnicom BMH1002T [Slika 47] tvrtke SCHNEIDER čije su specifikacije prikazane u tablici 10 [prema 14].



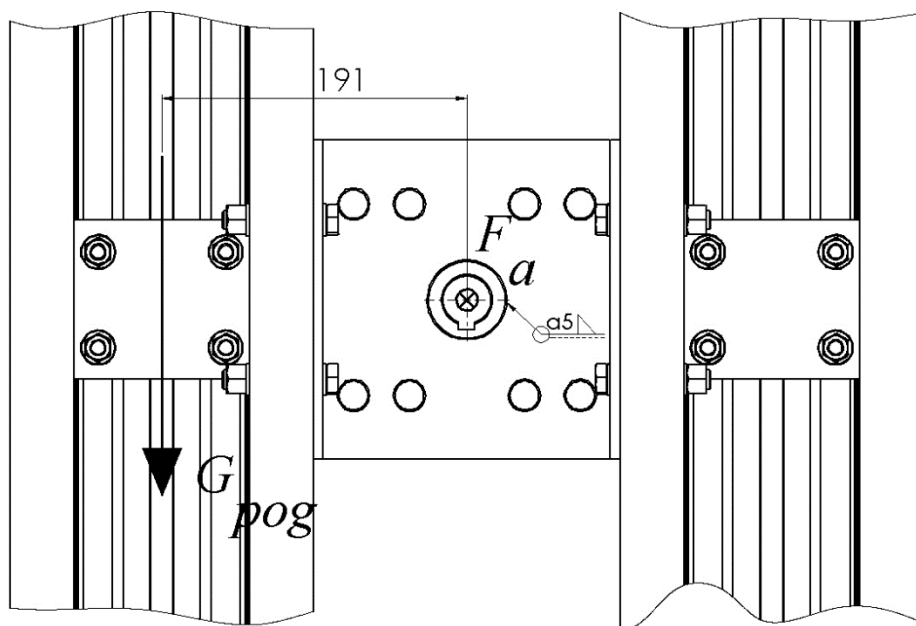
Slika 47. Servo motor BMH1002T

Tablica 10. Specifikacije elektromotora SCHNEIDER BMH1002T, prema [14]

| Specifikacije | SCHNEIDER BMH1002T |
|-------------------------------------|--------------------|
| Snaga (W) | 750 |
| Operativni moment (Nm) | 10,3 |
| Vršni moment (Nm) | 42 |
| Brzina vrtnje (min^{-1}) | 2000 |
| Izvor struje | DC |
| Kočnica | Da |

6.1.2.2. Proračun zavora glavine pogonskog mehanizma

Zavar na glavini pogonskog mehanizma opterećena je na savijanje, uvijanje i smik djelovanjem sile G_{pog} i na tlak pod djelovanjem sile F_a [Slika 48].



Slika 48. Opterećenje zavora na glavini pogonskog mehanizma

Opterećenje zavora na savijanje određuje se prema izrazu [2]:

$$\sigma_{s,z} = \frac{M_{s,z}}{W_{x,z}} \quad (32)$$

Gdje je:

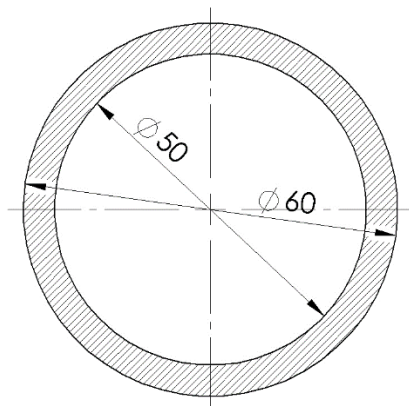
$M_{s,z}$ – moment savijanja koji opterećuje presjek zavora

$W_{x,z}$ – aksijalni moment otpora presjeka zavora

Moment savijanja jednak je momentu potrebnom za rotaciju pogonskog mehanizma odnosno:

$$M_{s,z} = M_{rot} = 40,3 \text{ Nm} = 40300 \text{ Nmm}$$

Aksijalni moment otpora presjeka zavora računa se prema izrazu [Slika 49]:



Slika 49. Presjek zavora na glavini pogonskog mehanizma

$$W_{x,z} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_z^4 - d_z^4}{D_z} \quad (33)$$

Gdje je:

D_z – vanjski promjer presjeka zavora

d_z – unutarnji promjer presjeka zavora

U izraz (33) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$D_z = 60 \text{ mm}$$

$$d_z = 50 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$W_{x,z} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{60^4 - 50^4}{60} = 10979 \text{ mm}^3$$

U izraz (32) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$M_{s,z} = 40300 \text{ Nmm}$$

$$W_{x,z} = 10979 \text{ mm}^3$$

Pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{s,z} = \frac{40300}{10979} = 3,67 \text{ N/mm}^2$$

Tlačno opterećenje zavora određuje se prema izrazu [2]:

$$\sigma_{t,z} = \frac{F_{a,z}}{A_z} \quad (34)$$

Gdje je:

$F_{a,z}$ – aksijalna sila koja tlačno opterećuje presjek zavora

A_z – površina presjeka zavora

Površina presjeka zavora određuje se prema izrazu [1]:

$$A_z = \frac{\pi}{4} \cdot (D_z^2 - d_z^2) \quad (35)$$

Gdje je:

D_z – vanjski promjer presjeka zavora

d_z – unutarnji promjer presjeka zavora

U izraz (35) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$D_z = 60 \text{ mm}$$

$$d_z = 50 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$A_z = \frac{\pi}{4} \cdot (60^2 - 50^2) = 863,94 \text{ mm}^2$$

U izraz (34) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$F_{a,z} = F_a = F_{Bh} = 422 \text{ N}$$

$$A_z = 863,94 \text{ mm}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{t,z} = \frac{422}{863,94} = 0,488 \text{ N/mm}^2$$

Opterećenje zavora na uvijanje određuje se prema izrazu [2]:

$$\tau_{t,z} = \frac{T_z}{W_{t,z}} \quad (36)$$

Gdje je:

T_z – torzijski moment koji opterećuje presjek zavora

$W_{t,z}$ – torzijski moment otpora presjeka zavora

Torzijski moment otpora presjeka zavora određuje se prema izrazu [1]:

$$W_{t,z} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_z^4 - d_z^4}{D_z} \quad (37)$$

Gdje je:

D_z – vanjski promjer presjeka zavora

d_z – unutarnji promjer presjeka zavora

U izraz (37) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$D_z = 60 \text{ mm}$$

$$d_z = 50 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$W_{t,z} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{60^4 - 50^4}{60} = 21958 \text{ mm}^3$$

U izraz (36) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$T_z = M_{rot} = 40300 \text{ Nmm}$$

$$A_z = 863,94 \text{ mm}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$\tau_{t,z} = \frac{40300}{21958} = 1,84 \text{ N/mm}^2$$

Smično opterećenje zavara određuje se prema izrazu [2]:

$$\tau_{s,z} = \frac{G_{pog}}{A_z} \quad (38)$$

Gdje je:

G_{pog} – težina pogonskog mehanizma

A_z – površina presjeka zavara

U izraz (38) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pog} = 211 \text{ N}$$

$$A_z = 863,94 \text{ mm}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$\tau_{s,z} = \frac{211}{863,94} = 0,244 \text{ N/mm}^2$$

Reducirano naprezanje određuje se prema izrazu [2]:

$$\sigma_{red,z} = \sqrt{\sigma_{uk,z}^2 + 3 \cdot \tau_{uk,z}^2} \leq \sigma_{dop,z} \quad (39)$$

Gdje je:

$\sigma_{uk,z}$ – ukupno normalno naprezanje presjeka zavara

$\tau_{uk,z}$ – ukupno smično naprezanje presjeka zavara

$\sigma_{dop,z}$ – dopušteno naprezanje presjeka zavara

Ukupno normalno naprezanje zavara određuje se prema izrazu [2]:

$$\sigma_{uk,z} = \sigma_{s,z} + \sigma_{t,z} \quad (40)$$

Gdje je:

$\sigma_{s,z}$ – savojno naprezanje presjeka zavara

$\sigma_{t,z}$ – tlačno naprezanje presjeka zavara

Ukupno smično naprezanje zavara određuje se prema izrazu [2]:

$$\tau_{uk,z} = \sqrt{\tau_{t,z}^2 + \tau_{s,z}^2} \quad (41)$$

Gdje je:

$\tau_{t,z}$ – torzijsko naprezanje presjeka zavora

$\tau_{s,z}$ – smično naprezanje presjeka zavora

U izraz (40) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$\sigma_{s,z} = 3,67 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,z} = 0,488 \text{ N/mm}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{uk,z} = 3,67 + 0,488 = 4,158 \text{ N/mm}^2$$

U izraz (41) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$\tau_{t,z} = 1,84 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{s,z} = 0,244 \text{ N/mm}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$\tau_{uk,z} = \sqrt{1,84^2 + 0,244^2} = 1,86 \text{ N/mm}^2$$

U izraz (39) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$\sigma_{uk,z} = 4,158 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{uk,z} = 1,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{dop,z} = 90 \text{ N/mm}^2, \text{ prema [1]}$$

Pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{red,z} = \sqrt{4,158^2 + 3 \cdot 1,86^2} = 5,26 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{dop,z} = 90 \text{ N/mm}^2$$

Zavar zadovoljava.

6.2. Ostvarivanje kontakta sa površinom stakla

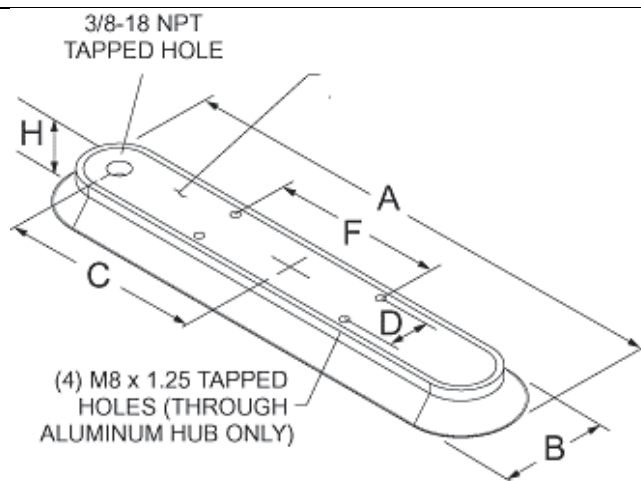
Ostvarivanje kontakta između uređaja i staklene površine vrši se preko vakuumskih hvataljki.

Na uređaju se nalaze dvije vrste vakuumskih hvataljki:

- Pokretne vakuumske hvataljke postavljene na linearni pogon
- Nepokretne (fiksne) vakuumske hvataljke postavljene na nosivu konstrukciju

6.2.1. Odabir vakuumskih hvataljki

Kako bi se odredio potreban podtlak vakuum pumpe potrebno je odabrati odgovarajuće vakuumske hvataljke odnosno vakuumske zdjelice. Za pokretne vakuumske hvataljke odabiru se vakuumske zdjelice ANVERFLEX OC32-150 tvrtke ANVER [Slika 50] čije su karakteristike prikazane u tablici 11.



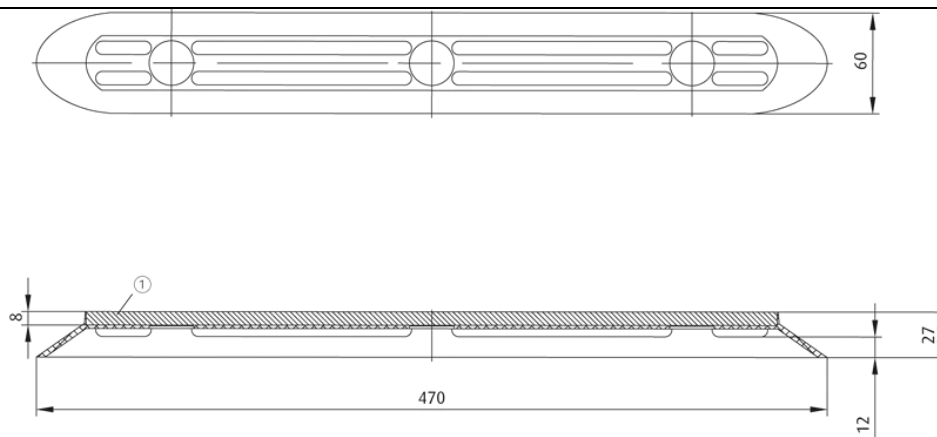
| Vakuumska zdjelica ANVERFLEX OC32-150 | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A (mm) | B(mm) | C (mm) | D (mm) | E (mm) | F (mm) | H (mm) |
| 394 | 92 | 149 | 32 | 9,6 | 127 | 26 |

Slika 50. Vakuumska zdjelica ANVERFLEX OC32-150

Tablica 11. Specifikacije vakuumske zdjelice ANVERFLEX OC32-150, prema [15]

| Specifikacije | ANVERFLEX OC32-150 |
|---|------------------------------------|
| Vrsta pneumatskog priključka | G 3/8 |
| Položaj priključka | Gore |
| Položaj ugradnje | Proizvoljno |
| Pogonski tlak (bar) | -0,9 - 0 |
| Pogonski medij | Atmosferski zrak (ISO 8573-1:2010) |
| Sila držanja u horizontalnom smjeru (N) | 430 |
| Sila držanja u vertikalnom smjeru (N) | 860 |
| Materijal navojnog čepa | Aluminijska legura |
| Materijal vakuumske zdjelice | PU |

Za nepokretne vakuumske hvataljke postavljene u vertikalnom smjeru odabiru se vakuumske zdjelice ANVERFLEX OC32-150 tvrtke ANVER [Slika 50] čije su karakteristike prikazane u tablici 11, dok se za nepokretne vakuumske hvataljke postavljene u horizontalnom smjeru odabiru vakuumske zdjelice FIPA 470x60 [Slika 51] čije su karakteristike prikazane u tablici 12.



Slika 51. Vakuumska zdjelica FIPA 470x60

Tablica 12. Specifikacije vakuumske zdjelice FIPA 470x60, prema [16]

| Specifikacije | FIPA 470x60 |
|---|------------------------------------|
| Vrsta pneumatskog priključka | G 3/8 |
| Položaj priključka | Gore |
| Položaj ugradnje | Proizvoljno |
| Pogonski tlak (bar) | -0,85 - 0 |
| Pogonski medij | Atmosferski zrak (ISO 8573-1:2010) |
| Sila držanja u horizontalnom smjeru (N) | 350 |
| Sila držanja u vertikalnom smjeru (N) | 750 |
| Materijal navojnog čepa | Aluminijska legura |
| Materijal vakuumske zdjelice | NBR |

Obzirom na nosivost i veličinu vakuumskih zdjelica odabire se sljedeći broj vakuumskih zdjelica:

$$n_{VZ,p} = 2 \text{ na svakoj linearnoj jedinici}$$

$$n_{VZ,np} = 14 \text{ (8 ANVERFLEX OC32 – 150 + 6 FIPA470x60)}$$

Gdje je:

$n_{VZ,p}$ – broj pokretnih vakuumskih zdjelica

$n_{VZ,np}$ – broj nepokretnih vakuumskih zdjelica

6.2.2. *Određivanje potrebnog podtlaka vakuum pumpe*

Podtlak potreban za generiranje vakuuma određuje se iz uvjeta ravnoteže impulsa sile stvorenog vakuumom i normalne sile na podlogu odnosno:

$$I_v = F_N \quad (42)$$

Gdje je:

I_v – impuls sile stvoren vakuumom

F_N – normalna sila na podlogu

Impuls sile stvoren vakuumom određen je izrazom:

$$I_v = n_{VZ} \cdot p_v \cdot A_{VZ} \quad (43)$$

Gdje je:

I_v – impuls sile stvoren vakuumom

n_{VZ} – broj vakuumskih zdjelica

p_v – podtlak potreban za generiranje vakuuma

A_{VZ} – površina vakuumske zdjelice

Normalna sila na podlogu određuje se prema izrazu:

$$F_N = \frac{F_{tr}}{\mu} \quad (44)$$

Gdje je:

F_{tr} – sila trenja na podlozi

μ – faktor trenja podloge

Uvrštavanjem izraza (43) i (44) u izraz (42) dobiva se izraz za određivanje potrebnog podtlaka vakuum pumpe:

$$p_v = \frac{F_{tr}}{\mu \cdot n_{VZ} \cdot A_{VZ}} \quad (45)$$

Gdje je:

F_{tr} – sila trenja na podlozi

n_{VZ} – broj vakuumskih zdjelica

μ – faktor trenja

A_{VZ} – površina vakuumske zdjelice

Najveći potrební podtlak biti će onaj koji je potreban za ostvarivanje vakuuma za pokretne vakuumske hvataljke.

U izraz (45) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$F_{tr} = F_{tr1} = 1294 \text{ N}$$

$$\mu = 0,5$$

$$n_{VZ} = n_{VZ,p} = 2$$

$$A_{VZ} = 36248 \text{ mm}^2 = 0,036 \text{ m}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$p_v = \frac{1294}{0,5 \cdot 2 \cdot 0,036} = 35944 \text{ N/m}^2 = 0,35944 \text{ bar}$$

6.2.3. Odabir vakuum pumpe

Vakuum pumpa odabire se prema izrazu:

$$p_{vp} \geq p_v \quad (46)$$

p_{vp} – podtlak vakuum pumpe

p_v – podtlak potreban za generiranje vakuuma

U izraz (46) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

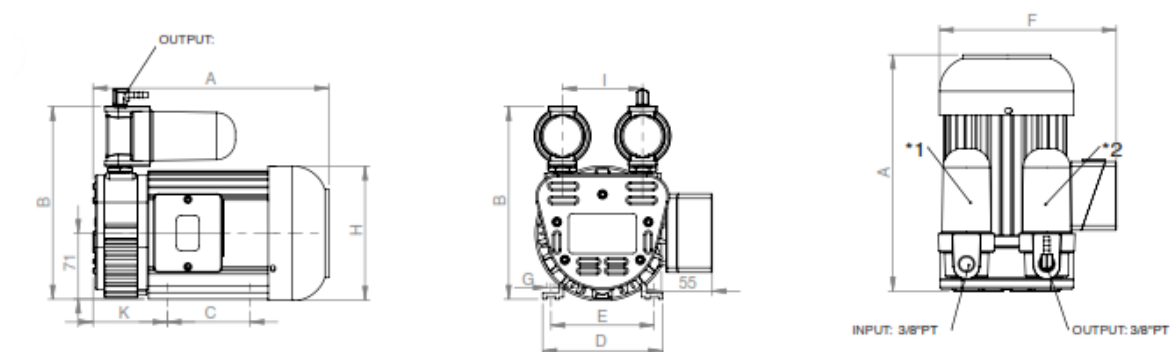
$$p_v = 0,35944 \text{ bar}$$

Pri čemu se dobiva:

$$p_{vp} \geq 0,35944 \text{ bar}$$

Prema potrebnom podtlaku odabire se rotacijska vakuum pumpa INECO RV22 [Slika 52] čije se karakteristike prikazane u tablici 13.

| Series | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K |
|--------|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|------|----|----|
| RV 22 | 258 | 220 | 90 | 130 | 112 | 192 | Ø8 | Ø145 | 87 | 80 |
| RV 26 | 260 | 220 | 90 | 130 | 112 | 192 | Ø8 | Ø145 | 87 | 82 |



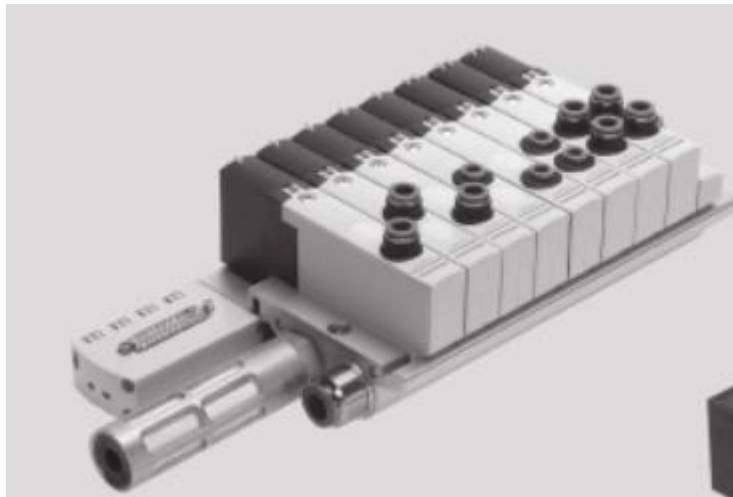
Slika 52. Rotacijska vakuum pumpa INECO RV22

Tablica 13. Specifikacije vakuum pumpe INECO RV22, prema [17]

| Specifikacije | INECO RV22 |
|------------------------|------------|
| Volumni protok (l/min) | 120 |
| Vakuum (bar) | 0,88 |
| Razina zaštite | IP54 |
| Snaga (W) | 310 |
| Razina buke (dB) | 59 |
| Masa (kg) | 13 |
| Pneumatski priključak | G 3/8 |

6.2.4. Odabir perifernih uređaja

Kako bi bilo moguće koristiti sapnice ili vakuum zdjelice potrebno je pravilno raspodijeliti radni medij. Raspodjela se obavlja putem elektropneumatskih ventila. Prema [18] odabire se potreban ventilski blok FESTO VTUB-SET-S1D-G12-D-P4T-B-6K-NN prikazan na slici 53 dok su njegove karakteristike navedene u tablici 14.

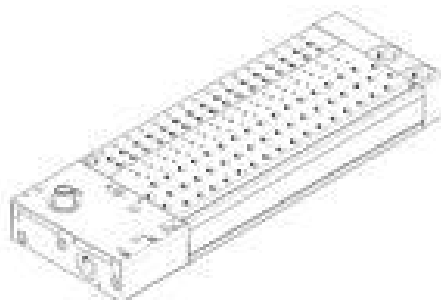
**Slika 53. FESTO VTUB, prema [FESTO]**

Tablica 14. Specifikacije FESTO VTUB, prema [18]

| Specifikacije | FESTO VTUB |
|------------------------|------------------|
| Funkcija ventila | 3/2 monostabilan |
| Nazivni protok (l/min) | 200 -1000 |
| Nazivni tlak (bar) | -0,9 – 8 |
| Električna zaštita | IP 65 |
| Način aktiviranja | Električno |
| Princip brtvljenja | Mekano |
| Indikacija položaja | LED |
| Prikladnost za vakuum | Da |

Ventil se pričvršćuje putem standardnih pričvršćenja MPL-04 prema [FESTO].

Zbog većeg broja vakuum zdjelica potrebno je ugraditi priključnu letvu čime se olakšava priključivanje vakuum zdjelica na ventil. Prema [18] odabire se priključna letva FESTO VABM-B6-E-G12-8-M1 prikazana na slici 54, tehničkih karakteristika navedenih u tablici 15.

**Slika 54. FESTO VABM****Tablica 15. Specifikacije FESTO VABM, prema [18]**

| Specifikacije | FESTO VABM |
|------------------------|------------|
| Broj ventilskih mjesta | 8 |
| Masa (kg) | 0,77 |
| Pneumatski priključak | G 1/2 |

6.2.4.1. Odabir kompenzatora visine vakuumskih hvataljki

Kako bi se omogućilo prelaženje preko aluminijskih profila staklenih pročelja te drugih neravnina na staklu do maksimalno 45 mm visine odabiru se kompenzatori visine SALSA-330 tvrtke ANVER [Slika 55] čije karakteristike prikazuje tablica 16.



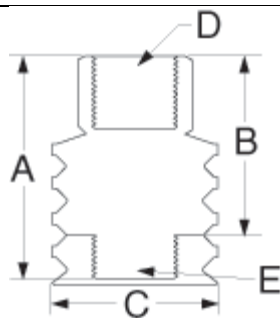
Slika 55. Kompenzator visine SALSA-330

Tablica 16. Specifikacije SALSA-330, prema [15]

| Specifikacije | ANVER SALSA-330 |
|--|-----------------|
| Pneumatski priključak | G 3/8 |
| Hod (mm) | 49 |
| Visina (mm) | 102 |
| Priključak za montiranje | 3/4" |
| Maksimalna debljina stjenke za montiranje (mm) | 18 |

6.2.4.2. Odabir rotirajućih zglobnih mehanizama vakuumskih hvataljki

Kako bi se omogućio prihvat vakuumskih zdjelica i za blago zakrivljene staklene površine na kompenzatore visine može se ugraditi zglobni mehanizam SW38F-38M-G [Slika 56] tvrtke ANVER čije su specifikacije prikazane u tablici 17.



Slika 56. ANVER SW38F-38M-G

Tablica 17. Specifikacije ANVER SW38F-38M-G, prema [15]

| Specifikacije | ANVER SW38F-38M-G |
|---------------------------------|-------------------|
| A (mm) | 57,7 |
| B (mm) | 50,5 |
| C (mm) | 39,9 |
| Pneumatski priključak-ženski, D | G 3/8 |
| Pneumatski priključak-muški, E | G 3/8 |

6.2.4.3. Odabir spojnih cijevi za stvaranje vakuuma

Za spajanje elemenata za generiranje vakuuma odabiru se savitljive cijevi FESTO PAN-MF-10x1,25-SW [Slika 57] čije su karakteristike prikazane u tablici 18.



Slika 57. FESTO PAN-MF-10x1,25-SW

Tablica 18. Specifikacije FESTO PAN-MF-10x1,25-SW, prema [18]

| Specifikacije | FESTO PAN-MF-10x1,25-SW |
|---------------------------------------|---|
| Vanjski promjer (mm) | 10 |
| Radijus savijanja (mm) | 65 |
| Unutarnji promjer (mm) | 7,5 |
| Min. radijus savijanja (mm) | 45 |
| Pogonski tlak (bar) | -0,95 - 19 |
| Pogonski medij | Komprimirani zrak prema ISO 8573-1:2010 |
| Temperatura okoline(°C) | -60 – 100 |
| Boja | Crna |
| Težina proizvoda prema duljini (kg/m) | 0,035 |
| Materijal | Poliamid 12 |

6.3. Čišćenje staklenih pročelja

Čišćenje staklenih pročelja vrši se pomoću pare koja se stvara u generatoru pare iz pročišćene vode dobivene pročišćavanjem kroz sustav reverzne osmoze.

6.3.1. Odabir generatora pare

Generator pare odabire se prema potrebnom tlaku čišćenja i količini vodene pare dovoljnoj za čišćenje staklenih pročelja. Potrebna snaga generatora određuje izračunavanjem toplinskog toka potrebnog za pregrijavanje pare.

Toplinski tok potreban za pregrijavanje pare određuje se prema izrazu:

$$\phi_{gen} \geq q_{mp} \cdot (h_{pp} - h_{pv}) \quad (47)$$

Gdje je:

q_{mp} – maseni protok pare

h_{pp} – entalpija pregrijane pare

h_{pv} – entalpija vode

U izraz (47) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$q_{mp} = 3 \text{ kg/h} = 0,000833 \text{ kg/s}$$

$$h_{pp} = 2769,09 \text{ kJ/kg}, \text{ prema [Toplinske tablice za } p_{pp} = 2 \text{ bar } T_p = 150 \text{ °C}]$$

$$h_v = 84,11 \text{ kJ/kg}, \text{ prema [Toplinske tablice za } p_{pv} = 2 \text{ bar } T_v = 20 \text{ °C}]$$

Pri čemu se dobiva:

$$\phi_{gen} \geq 0,000833 \cdot (2769,09 - 84,11) = 2,24 \text{ kW}$$

Prema određenom toplinskom toku, tlaku čišćenje te masenom protoku pare odabire se generator pare CELLKRAFT E-3000 [Slika 58] tvrtke CELLKRAFT čije specifikacije prikazuje tablica 19.



Slika 58. CELLKRAFT E-3000

Tablica 19. Specifikacije CELLKRAFT E-3000, prema [19]

| Specifikacije | CELLKRAFT R-3000 |
|----------------------------|--------------------------------|
| Maseni protok pare (g/min) | 0 - 100 |
| Temperatura pare (°C) | 100 - 200 |
| Tlak pare (bar) | 1 – 6 |
| Ulazni medij | Destilirana, deionizirana voda |
| Tlak vode na ulazu (bar) | 1 - 4 |
| Snaga (W) | 3000 |
| Temperatura okoline (°C) | -40...60 |
| Dimenzije W x H x D (mm) | 281 x 471 x 391 |
| Masa (kg) | 20 |
| Priključak za vodu / ulaz | G 1/4 |
| Priključak za paru / izlaz | G 1/2 |

6.3.2. Odabir spremnika vode

Spremnik vode odabire se prema potrebnom masenom protoku vode te pretpostavljenom ciklusu čišćenja od min 1h.

Maseni protok vode iznosi:

$$q_{mv} = 3 \text{ kg/h} = 0,000833 \text{ kg/s}$$

Prema masenom protoku i pretpostavljenom ciklusu čišćenja odabire se spremnik T12NA-2BC tvrtke TANKS-DIRECT [Slika 59] čije su specifikacije prikazane u tablici 20.



Slika 59. Spremnik vode T12NA-2BC

Tablica 20. Specifikacije T12NA-2BC, prema [20]

| Specifikacije | T12NA-2BC |
|----------------------------|-----------------|
| Volumen (L) | 12 |
| V x Š x D (mm) | 200 x 150 x 420 |
| Izlazni priključak | G 1/4 |
| Ulazni priključak sa čepom | G 2 1/4 |
| Masa (kg) | 1,3 |

6.3.3. Odabir sustava za pročišćavanje vode

Za pročišćavanje vode odabire se sustav reverzne osmoze AAA-245P [Slika 60] sa 5 razina pročišćavanja vode tvrtke AMI čije specifikacije prikazuje tablica 21.



Slika 60. Sustav pročišćavanja vode AAA-245P

Tablica 21. Specifikacije AMI AAA-245P, prema [21]

| Specifikacije | AMI AAA-245P |
|----------------------------|----------------|
| V x Š x D (mm) | 30 x 270 x 200 |
| Izlazni priključak | G 1/4 |
| Ulazni priključak sa čepom | G 1/4 |
| Razine filtriranja | 5 |
| Volumni protok (l/h) | 4 |

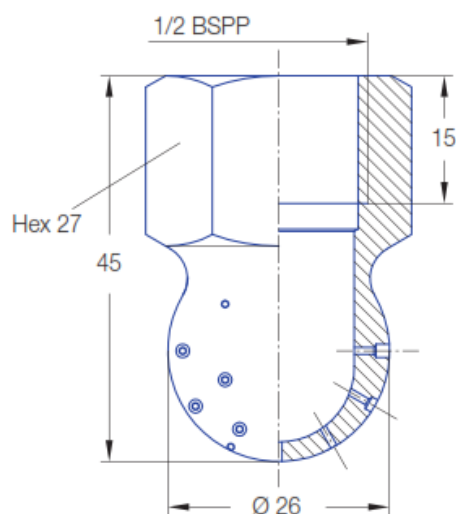
6.3.4. Odabir mlaznica vodene pare

Mlaznice vodene pare odabiru se prema potrebnom tlaku čišćenja i masenom protoku pare gdje je:

$$q_{mp} = 3 \text{ kg/h} = 0,000833 \text{ kg/s}$$

$$p_{\text{čiš}} = 2 \text{ bar}$$

Odabiru se mlaznice LECHLER 540.909.16.CA [Slika 61] tvrtke LECHLER čije su specifikacije prikazane u tablici 22.



Slika 61. Mlaznica vodene pare LECHLER 540.909.16.CA

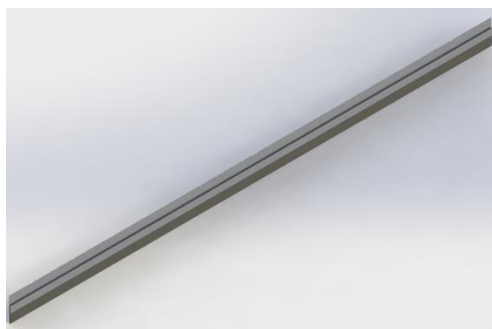
Tablica 22. Specifikacije LECHLER 540.909.16.CA, prema [22]

| Specifikacije | LECHLER 540.909.16.CA |
|--------------------------------|-----------------------|
| Operativni tlak (bar) | 2 |
| Maseni protok pare (kg/h) | 0..18,10 |
| Promjer izlaznih mlaznica (mm) | 0,8 |
| Kut špricanja (°) | 240 |
| Maksimalna temperatura (°C) | 200 |
| Materijal | AISI 303 |

Obzirom na kut čišćenja odabire se 10 mlaznica koje mogu pokriti cijelu površinu čišćenja.

6.3.5. Odabir gumenih brisača

Za skupljanje kondenzirane vodene pare odabiru se 4 gumena brisača sa pripadajućim držačima tvrtke UNGER [Slika 62].



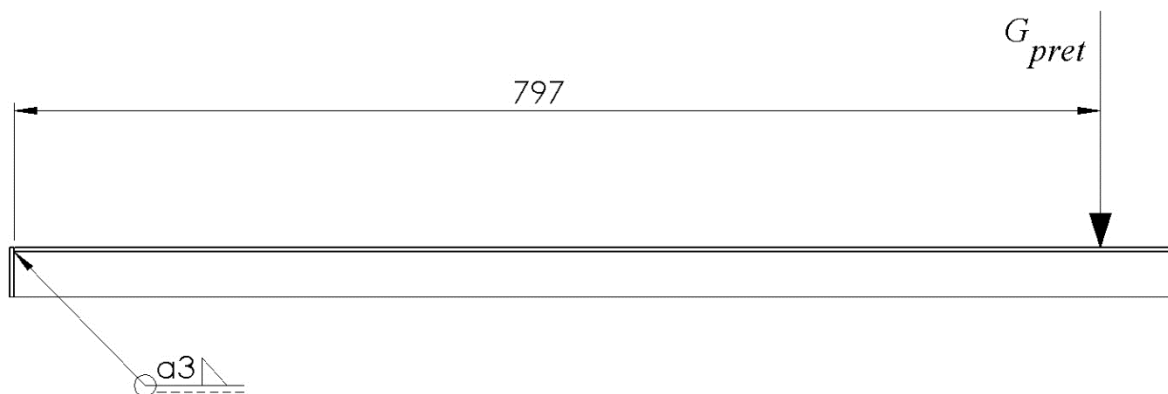
Slika 62. Gumeni brisač

6.4. Nosiva konstrukcija

Nosiva konstrukcija izrađuje se u zavarenoj izvedbi od aluminijskih limova Al 6061 debljine 3 mm.

6.4.1. Proračun kritičnog zavar

Najopterećeniji zavar nalazi se na spoju između bočnih ploča nosive konstrukcije kada teoretski zavar opterećuje ukupna težina uređaja [Slika 63].



Slika 63. Opterećenje zavar na nosivoj konstrukciji

Zavar je opterećen na savijanje i smik pod djelovanjem sile težine uređaja.

Opterećenje na savijanje određuje se prema izrazu (32):

$$\sigma_{s,z} = \frac{M_{s,z}}{W_{x,z}}$$

Gdje je:

$M_{s,z}$ – moment savijanja koji opterećuje presjek zavar

$W_{x,z}$ – aksijalni moment otpora presjeka zavar

Moment savijanja određuje se prema izrazu:

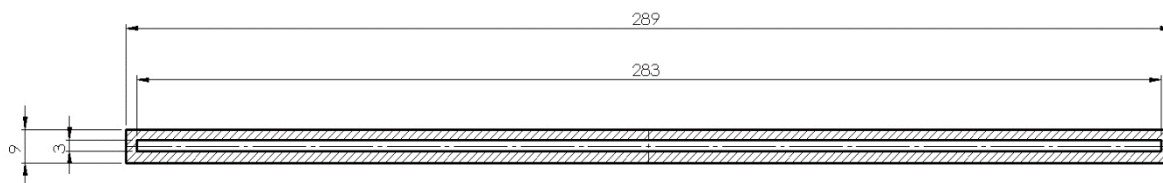
$$M_{s,z} = G_{pret} \cdot \frac{l_{bp}}{2} \quad (48)$$

Gdje je:

G_{pret} – pretpostavljena težina uređaja

l_{bp} – duljina bočne ploče

Aksijalni moment otpora presjeka zavar računa se prema izrazu [Slika 64]:



Slika 64. Presjek zavora nosive konstrukcije

$$W_{x,z} = \frac{(9 \cdot 289^2 - 3 \cdot 283^2)}{6} \quad (49)$$

Pri čemu se dobiva:

$$W_{x,z} = \frac{(9 \cdot 289^2 - 3 \cdot 283^2)}{6} = 85237 \text{ mm}^3$$

U izraz (48) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pret} = 1962 \text{ N}$$

$$l_{bp} = 1594 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$M_{s,z} = 1962 \cdot \frac{1594}{2} = 1563714 \text{ Nmm}$$

U izraz (32) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$M_{s,z} = 1563714 \text{ Nmm}$$

$$W_{x,z} = 85237 \text{ mm}^3$$

Pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{s,z} = \frac{1563714}{85237} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

Smično opterećenje zavora određuje se prema izrazu [2]:

$$\tau_{s,z} = \frac{G_{pret}}{A_z} \quad (50)$$

Gdje je:

G_{pret} – pretpostavljena težina uređaja

A_z – površina presjeka zavora

U izraz (50) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pret} = 1962 \text{ N}$$

$$A_z = 1752 \text{ mm}^2$$

Pri čemu se dobiva:

$$\tau_{s,z} = \frac{1962}{1752} = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

Reducirano naprezanje određuje se prema izrazu [2]:

$$\sigma_{red,z} = \sqrt{\sigma_{s,z}^2 + 3 \cdot \tau_{s,z}^2} \leq \sigma_{dop,z} \quad (51)$$

Gdje je:

$\sigma_{s,z}$ – normalno naprezanje presjeka zavora

$\tau_{s,z}$ – smično naprezanje presjeka zavora

$\sigma_{dop,z}$ – dopušteno naprezanje presjeka zavora

U izraz (51) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$\sigma_{s,z} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{s,z} = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{dop,z} = 90 \text{ N/mm}^2, \text{ prema [1]}$$

Pri čemu se dobiva:

$$\sigma_{red,z} = \sqrt{18,35^2 + 3 \cdot 1,12^2} = 18,45 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{dop,z} = 90 \text{ N/mm}^2$$

Zavar zadovoljava.

6.4.2. Proračun maksimalnog progiba

Maksimalni progib javiti će se djelovanjem ukupne težine uređaja na bočnu ploču nosive konstrukcije.

Maksimalni progib bočne ploče određuje se prema izrazu [1]:

$$f = \frac{G_{pret}}{E \cdot I_{bp}} \cdot \frac{l_{bp}^3}{192} \quad (52)$$

Gdje je:

G_{pret} – pretpostavljena težina uređaja

E – modul elastičnosti

I_{bp} – moment tromosti presjeka

l_{bp} – duljina bočne ploče

Moment tromosti presjeka određuje se prema izrazu:

$$I_{bp} = \frac{t_{bp} \cdot w_{bp}^3}{12} \quad (53)$$

Gdje je:

t_{bp} – širina presjeka bočne ploče

w_{bp} – duljina presjeka bočne ploče

U izraz (53) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$t_{bp} = 3 \text{ mm}$$

$$w_{bp} = 283 \text{ mm}$$

Pri čemu se dobiva:

$$I_{bp} = \frac{3 \cdot 283^3}{12} = 5666296,75 \text{ mm}^4$$

U izraz (52) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$G_{pret} = 1962 \text{ N}$$

$$E = 69000 \text{ MPa} = 69000 \text{ N/mm}^2$$

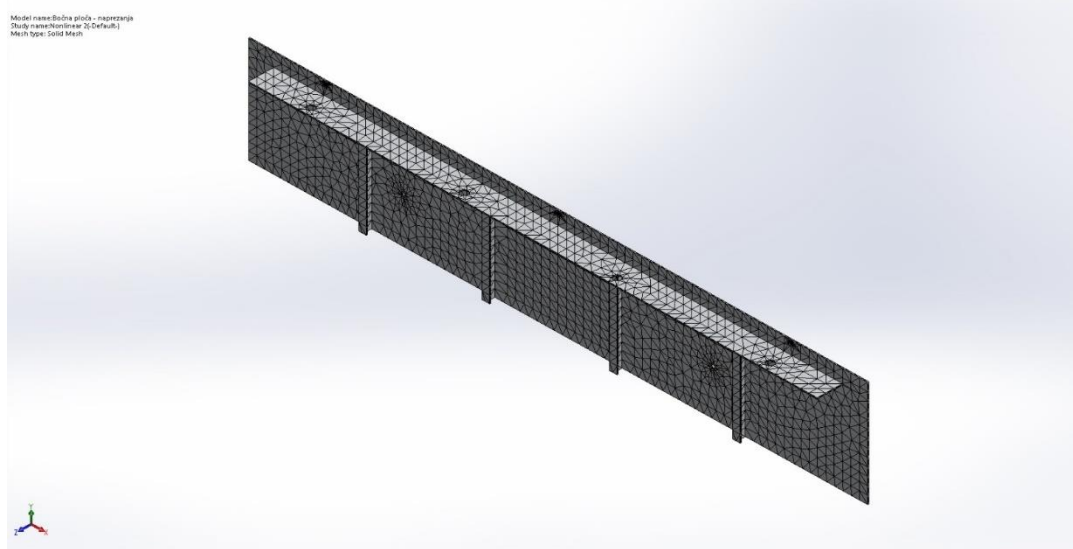
$$I_{bp} = 5666296,75 \text{ mm}^4$$

$$l_{bp} = 1594 \text{ mm}$$

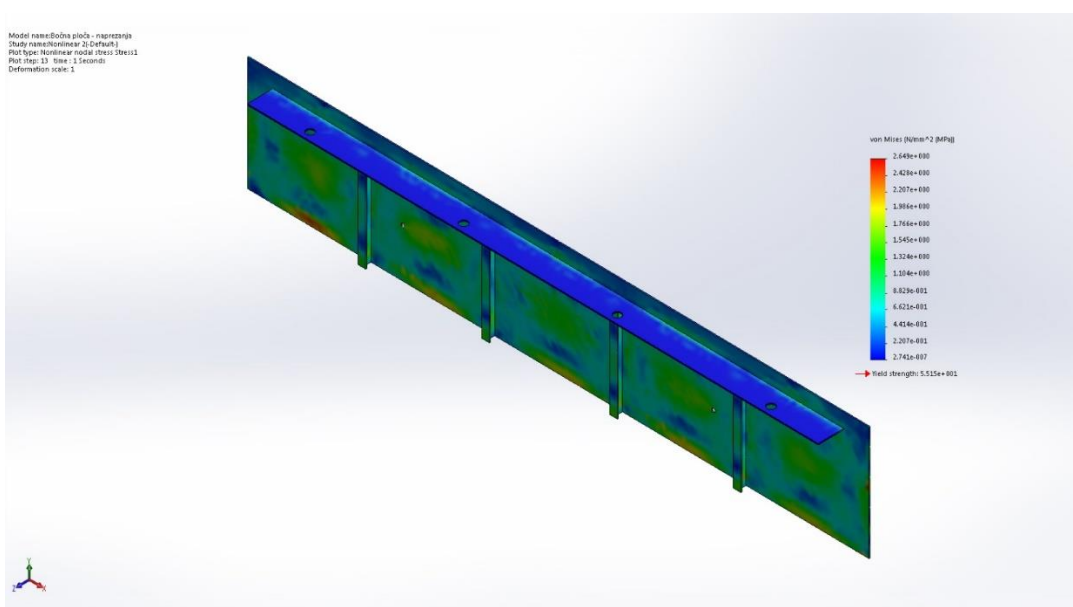
Pri čemu se dobiva:

$$f = \frac{1962}{69000 \cdot 5666296,75} \cdot \frac{1594^3}{192} = 0,105 \text{ mm}$$

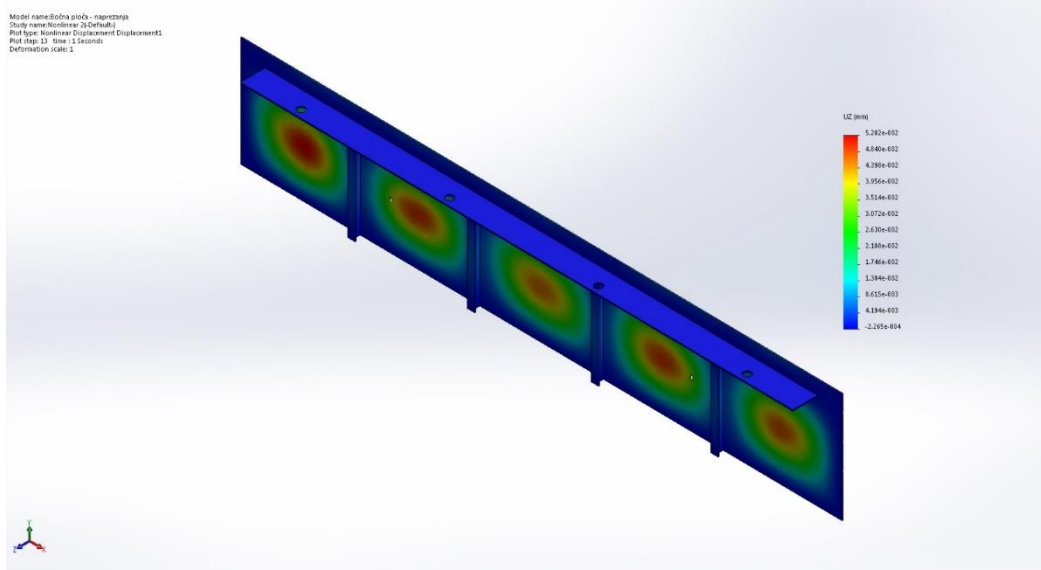
Obzirom na veličinu progiba na bočnu ploču zavaruju se 4 ukrute od aluminijskih T profila, 20x20x2 mm, nakon čega je progib određen računalnom metodom u programskom paketu SolidWorks 2015. Na slici 65. prikazana je mreža konačnih elemenata na bočnoj ploči, a na slikama 66. i 67. prikazani su dobivena maksimalna naprezanja i progibi bočne ploče.



Slika 65. Prikaz mreže konačnih elemenata na bočnoj ploči



Slika 66. Prikaz ukupnih napreznja na bočnoj ploči – računalna metoda



Slika 67. Prikaz progiba na bočnoj ploči – računalna metoda

Najveći progib dobiven računalnom metodom iznosi:

$$f_{max} = 0,005 \text{ mm}$$

6.5. Odabir napajanja uređaja

Obzirom da je uređaj potpuno autonoman kao izvor električne energije odabiru se baterije. Odabir potrebnih baterija vrši se prema ukupno potrebnoj snazi za pokretanje svih pogonskih uređaja te procijenjenom vremenskom ciklusu čišćenja od 1h.

Ukupna snaga potrebna za pogon uređaja određena je izrazom:

$$P_{uk} = P_{GP} + 2 \cdot P_{EM,L} + P_{EM,R} + P_{VP} + P_O \quad (54)$$

Gdje je:

P_{GP} – snaga potrebna za pogon generatora pare

$P_{EM,L}$ – snaga potrebna za pogon elektromotora linearnog pogona

$P_{EM,R}$ – snaga potrebna za pogon elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma

P_{VP} – snaga potrebna za pogon vakuum pumpe

P_O – snaga potrebna za pogon ostalih uređaja (regulacijski, pretvorni, upravljački uređaji, senzori)

U izraz (54) uvrštavaju se brojčane vrijednosti:

$$P_{GP} = 2200 \text{ W}$$

$$P_{EM,L} = 480 \text{ W}$$

$$P_{EM,R} = 750 \text{ W}$$

$$P_{VP} = 300 \text{ W}$$

$$P_O = 500 \text{ W}$$

Pri čemu se dobiva:

$$P_{uk} = 2200 + 2 \cdot 480 + 750 + 310 + 500 = 4720 \text{ W} \quad (46)$$

Prema dobivenoj ukupnoj snazi odabiru se 2 baterije WB-LYP700AHA tvrtke GWL/Power [Slika 68] čije su karakteristike prikazane u tablici 23.



Slika 68. Baterija WB-LYP700AHA

Tablica 23. Specifikacije WB-LYP700AHA, prema [23]

| Specifikacije | WB-LYP700AHA |
|---------------------------------|--------------|
| Tehnologija | LiFeYPO4 |
| Dimenzije, VxŠxD (mm) | 306x627x67 |
| Nominalni napon (V) | 12 |
| Kapacitet (Ah) | 700 |
| Max. struja pražnjenja (A) | 7000 |
| Optimalna struja pražnjenja (A) | 350 |
| Max. struja punjenja (A) | 2100 |
| Optimalna struja punjenja (A) | 350 |
| Masa (kg) | 21 |

6.6. Upravljanje, regulacija i sigurnost u radu

Upravljanje je predviđeno putem daljinskog upravljača koji prima potrebne signale od senzora i ostalih regulacijskih uređaja. U ovom diplomskom radu neće se razrađivati potrebni elektronički sklopovi i uređaji za upravljanje pojedinim pogonskim uređajem i za njih je samo predviđeno mjesto za spajanje na nosivoj konstrukciji uređaja.

Vođenje uređaja po staklenom pročelju osigurano je pomoću ultrazvučnih senzora UM30 [Slika 69] postavljenih na bočne plohe nosive konstrukcije. Specifikacije senzora prikazane su u tablici 24.



Slika 69. Senzor UM30

Tablica 24. Specifikacije senzora UM30, prema [24]

| Specifikacije | UM30 |
|-------------------------------|-----------|
| Operativni domet (mm) | 30...8000 |
| Preciznost (%) | ± 1 |
| Vrijeme odziva (ms) | 50 |
| Ultrazvučna frekvencija (kHz) | 320 |
| Masa (g) | 150 |

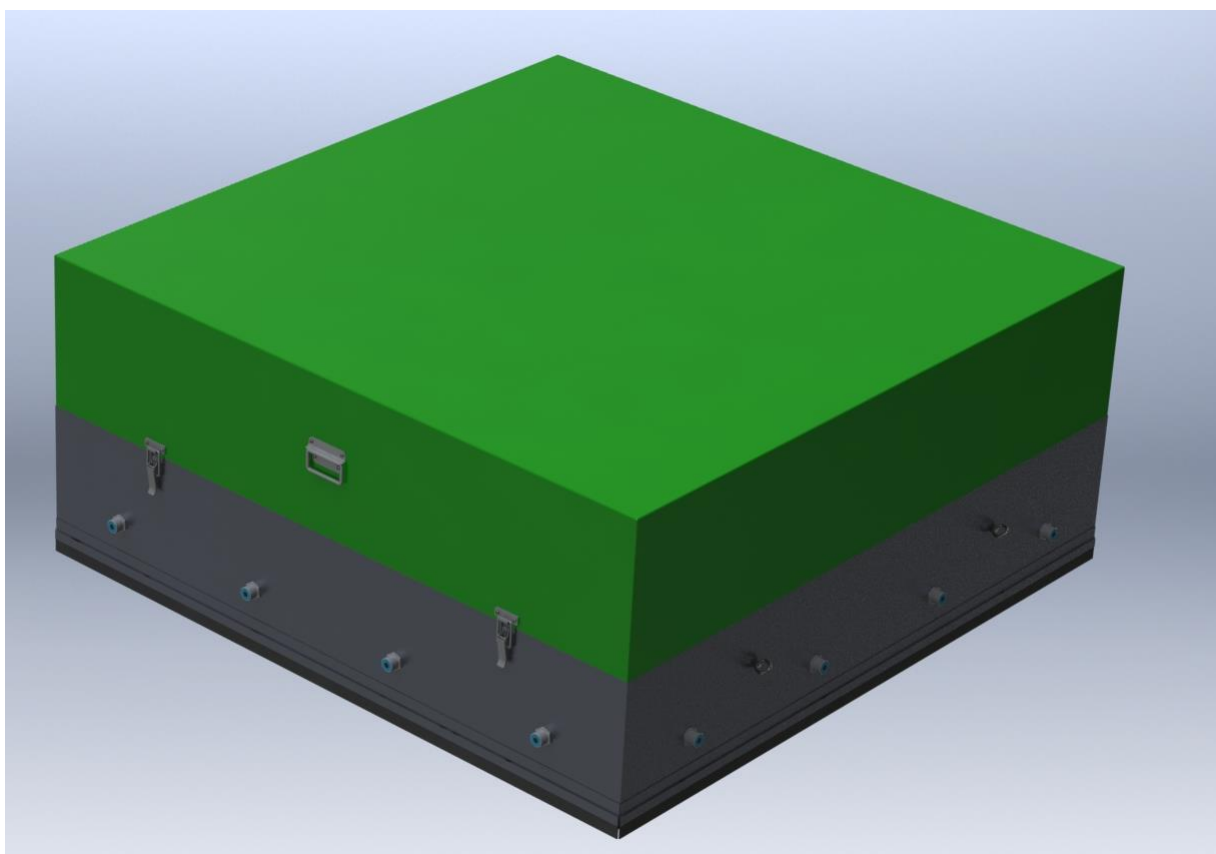
Sigurnost u radu samog uređaja za čišćenje staklenih pročelja osigurava se pomoću većeg broja vakuumskih hvataljki postavljenih na nosivoj konstrukciji. Na nosivoj konstrukciji postavljeno je 14 vakuumskih zdjelica koje su odabrane tako da dvije mogu držati cijeli uređaj [Poglavlje 6.2.1]. Generiranje vakuuma regulira se pomoću elektromagnetskih ventila od kojih svaki

upravlja sa 2 ili 3 vakuumske zdjelice na nosivoj konstrukciji. Time je uvelike smanjena vjerojatnost da će u istom trenutku (pukotine na staklu) sve hvataljke izgubiti vakuum.

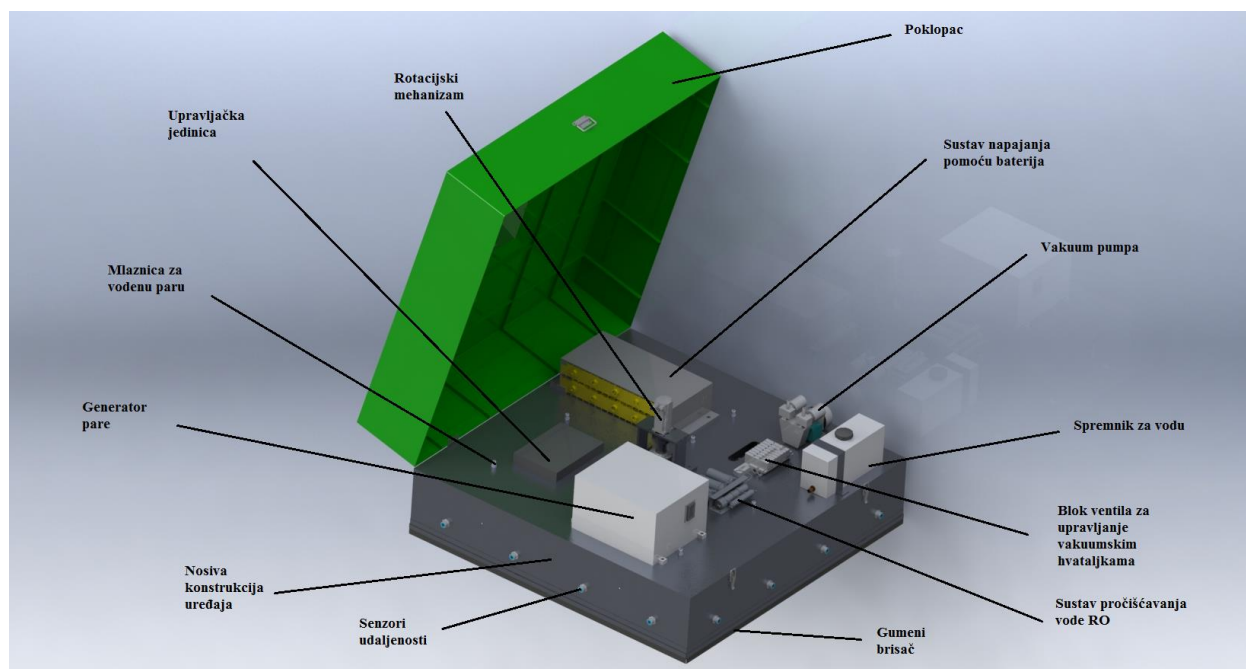
Obzirom da je uređaj u potpunosti autonoman i može raditi na velikim visinama kao krajnja sigurnost od pada predlaže se postavljanje padobrana i zračnog jastuka koji bi se u trenutku odvajanja uređaja od stakla odmah aktivirao i tako relativno sigurno spustio na tlo.

6.7. Izrada 3D modela odabranog koncepta

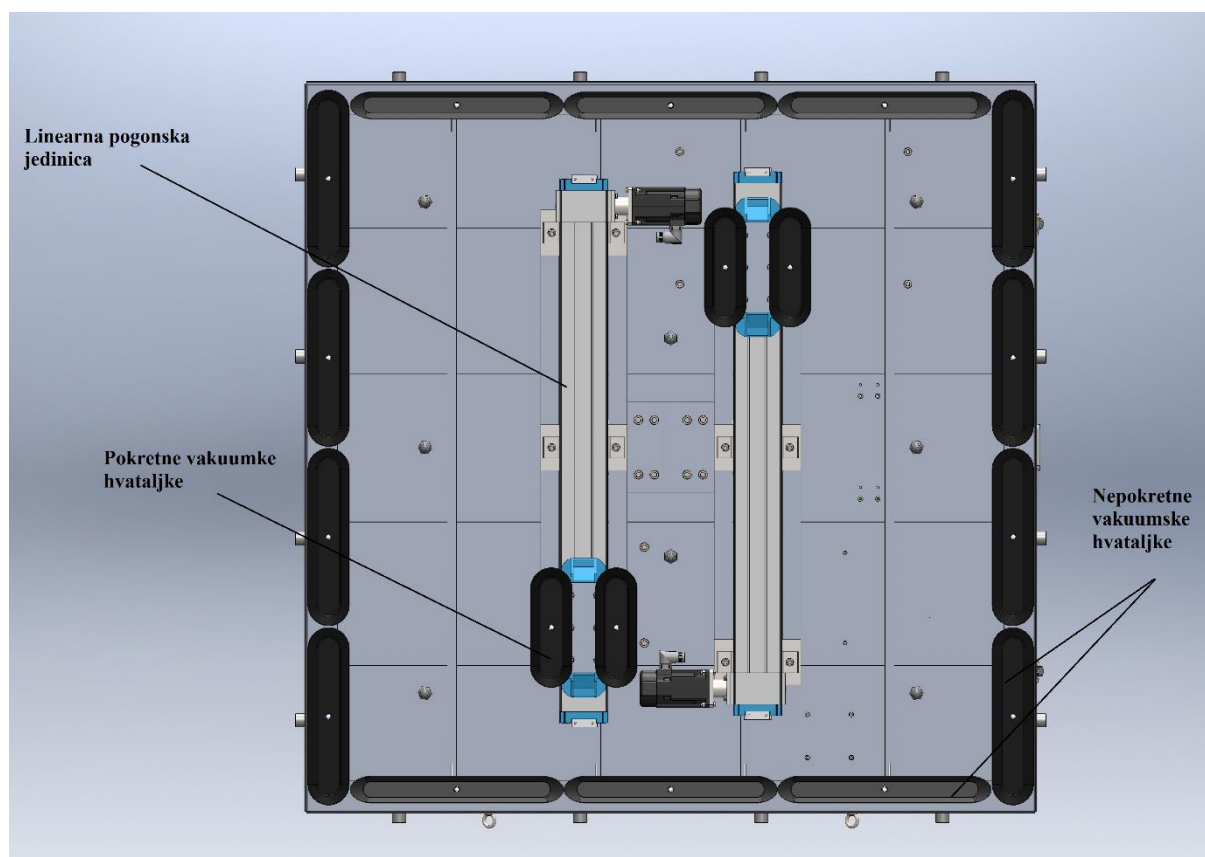
Za izradu 3D modela odabranog koncepta korišten je programski paket SolidWorks 2015. Na 3D modelu prikazan je uređaj sa svim pogonskim uređajima i sa potrebnim spojnim elementima osim tlačnih crijeva koji međusobno povezuju uređaje [Slika 70 i Slika 71]. Upravljačka jedinica prikazana je samo kao crna kutija koja predstavlja mjesto spajanja upravljačke jedinice.



Slika 70. 3D model uređaja za čišćenje staklenih pročelja



Slika 71. Prikaz 3D modela sa otvorenim poklopcem



Slika 72. Prikaz uređaja s donje strane (prikaz pogonskog mehanizma)

7. ZAKLJUČAK

Staklena pročelja zbog svojih povoljnih svojstava i atraktivnog izgleda predstavljaju trend u izgradnji novih građevina bilo poslovnih ili stambenih. Uporaba novih visokotehnoloških stakala u takvim staklenim pročeljima zahtjeva odgovarajući način čišćenja i održavanja same staklene površine. Čišćenje staklenih površina danas se još uvijek najviše izvodi ručno dok je na tržištu vrlo malo automatiziranih uređaja koji bi mogli zamijeniti čovjeka [Poglavlje 4]. Upravo ta činjenica predstavlja velik potencijal za razvoj uređaja koji bi samostalno mogao čistiti staklena pročelja zgrada. U ovom radu pokušalo se dati rješenje jednog takvog automatiziranog uređaja za čišćenje staklenih pročelja. Nakon definiranih potreba korisnika generirana su tri koncepta nakon čega je koncept 3 uzet kao najpovoljniji za detaljniju razradu [poglavlje 5]. Detaljna razrada i projektiranje rezultirali su uređajem koje prikazuju slike 70 i 71. Tijekom razrade pokušalo se koristiti što više standardnih dijelova kako bi troškovi izrade bili što niži. Kontinuirano gibanje uređaja po pročelju omogućeno je pomoću pokretnih vakuumske hvataljke koje se nalaze na linearnoj jedinici [Slika 41] i rotacijskog mehanizma. Stalni kontakt sa staklenom površinom osiguravaju vakuumske hvataljke postavljene po obodu nosive konstrukcije kojima se upravlja pomoću elektropneumatskih ventila [Poglavlje 6.2.4]. Na sve vakuumske hvataljke postavljeni su kompenzatori visine [Slika 55] čime se omogućuje prijelaz uređaja preko manjih neravnina (do 50 mm) i profila na pročeljima (ako je pročelje tako izvedeno).

Upravljanje uređajem vrši se pomoću daljinskog upravljača koji od senzora dobiva signale od pojedinih pogonskih uređaja. Razrada potrebnog elektroničkog sklopa za upravljanje uređajem kao i potreban softver za čišćenje i upravljanje pojedinim uređajima nisu razrađeni u ovom radu već je za njih pretpostavljeno mjesto za postavljanje na nosivoj konstrukciji uređaja. Napajanje svih pogonskih uređaja vrši se pomoću baterija koje bi trebale omogućiti minimalno 1h čišćenja u kontinuitetu.

Najveća prednost ovog uređaja je potpuna autonomnost u radu odnosno svi uređaji potrebni za čišćenje, pogon i vođenje nalaze se na samom uređaju i nije potrebna nikakva uporaba vanjskih uređaja (dizalica). Prednost korištenja ovakvog uređaja predstavlja i čišćenje parom čime se smanjuje potrošnja vode. Značajnu prednost predstavlja i korištenje sustava reverzne osmoze za pročišćavanje vode čime se omogućuje čišćenje bez agresivnih medija (kemikalije).

Ovakav uređaj predstavlja inovativno rješenje koje bi nakon dodatne optimizacije u pogledu korištenja novih materijala (kompoziti, ugljična vlakna i sl.), izrade specifičnih uređaja

isključivo za ovu namjenu (linearna jedinica, generator pare, baterije) te izrade kvalitetnog softvera za upravljanje moglo uvelike olakšati način čišćenja staklenih pročelja i osigurati konkurentnost obzirom da na tržištu još nema ovakvog uređaja. Detaljne specifikacije uređaja i parametri čišćenja mogle bi se odrediti tek nakon izrade odgovarajućeg softvera za upravljanje te izrade prototipa i testiranja.

LITERATURA

- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 2009.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [3] Horvat Z. i suradnici: Vratilo (Proračun), Zagreb,
- [4] <http://www.glassforeurope.com>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [5] <http://www.gradimo.hr/clanak/dvostruka-staklena-procelja/21129>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [6] <http://www.okno-hr.com/staklene-fasade/>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [7] <http://www.yourglass.com/>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [8] <http://work.chron.com/average-income-window-washing-company-owner-19574.html>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [9] <http://www.serbot.ch/>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [10] Jinwei Gu, Ravi Ramamoorthi, Peter Belhumeur, Shree Nayar, Dirty Glass: Rendering Contamination on Transparent Surfaces, Columbia University, 2007
- [11] http://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/products/positioning_slides_linear_units/bsdbg_mftf.php
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [12] <http://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/servo/akm-series/>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [13] <http://medias.schaeffler.de/>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [14] <http://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/2302-lexium-32---motors/?parent-subcategory-id=2935>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [15] http://www.anver.com/document/company/vacuum_cups.htm
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [16] http://www.fipa.com/en_GB/products/212414-vacuum-cups
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [17] <http://www.in-eco.eu/vacuum-pumps/rotary-vane-pumps/>

-
- Zadnji posjet: studeni 2015.
- [18] https://www.festo.com/cat/hr_hr/products
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [19] <http://www.cellkraft.se/downloads/E-Series.html>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [20] [http://www.tanks-direct.co.uk/10-50_litre_water_tanks/12_litre_water_tank_\(natural\)](http://www.tanks-direct.co.uk/10-50_litre_water_tanks/12_litre_water_tank_(natural))
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [21] <http://appliedmembranes.com/5-stage-residential-ro-systems.html>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [22] http://www.lechler.de/Products/General-Industry/Air-nozzles/-cbKjB_AAABj4UAAAEvdIoh.E.A-en_US
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [23] <http://www.ev-power.eu/Winston-40Ah-200Ah/WB-LYP700AHA-LiFeYPO4-3-2V-700Ah-Special-product.html>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [24] <http://www.sensorsincorporated.com/uploaded/Doc/Sick%20Ultrasonic%20Sensors.pdf>
Zadnji posjet: studeni 2015.
- [25] <http://www.aisglass.com/sites/default/files/pdfs/technical%20papers/AIS-59.pdf>
Zadnji posjet: studeni 2015.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija sa popisom dokumentacije

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

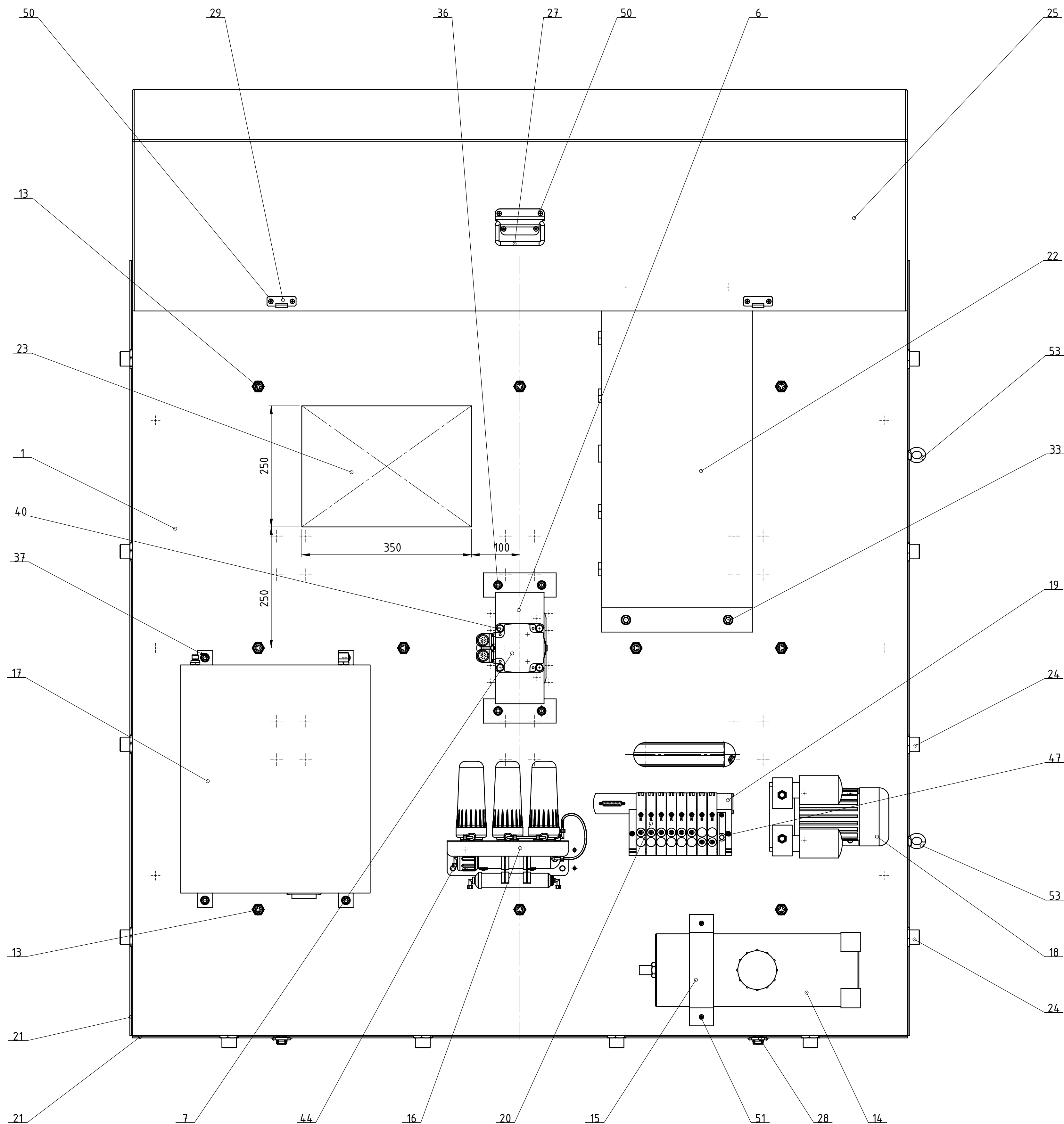
PRILOG DIPLOMSKOM RADU
TEHNIČKA DOKUMENTACIJA SA POPISOM
DOKUMENTACIJE


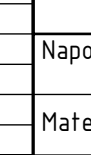
Ivan Janjiš

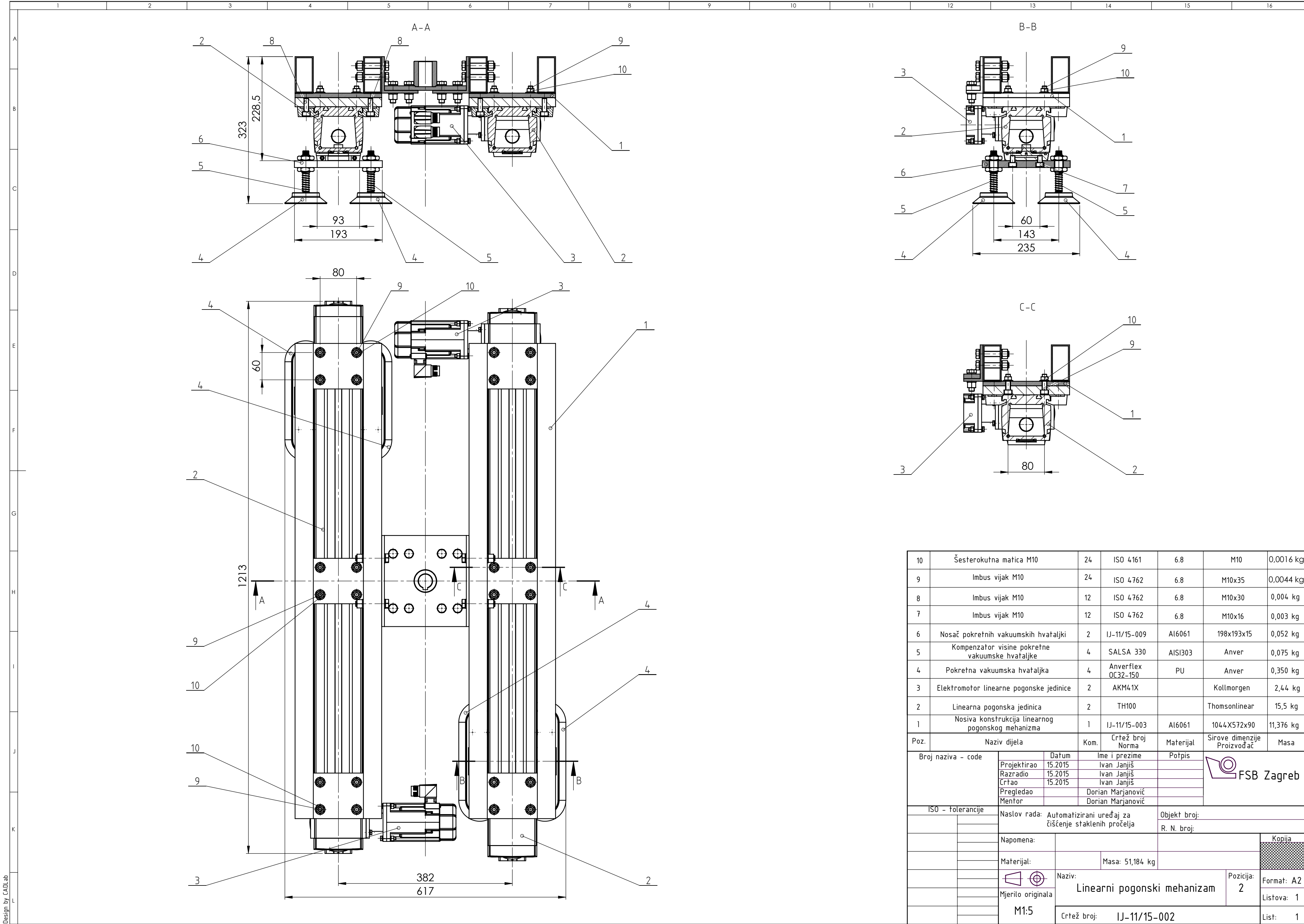
Zagreb, 2015.

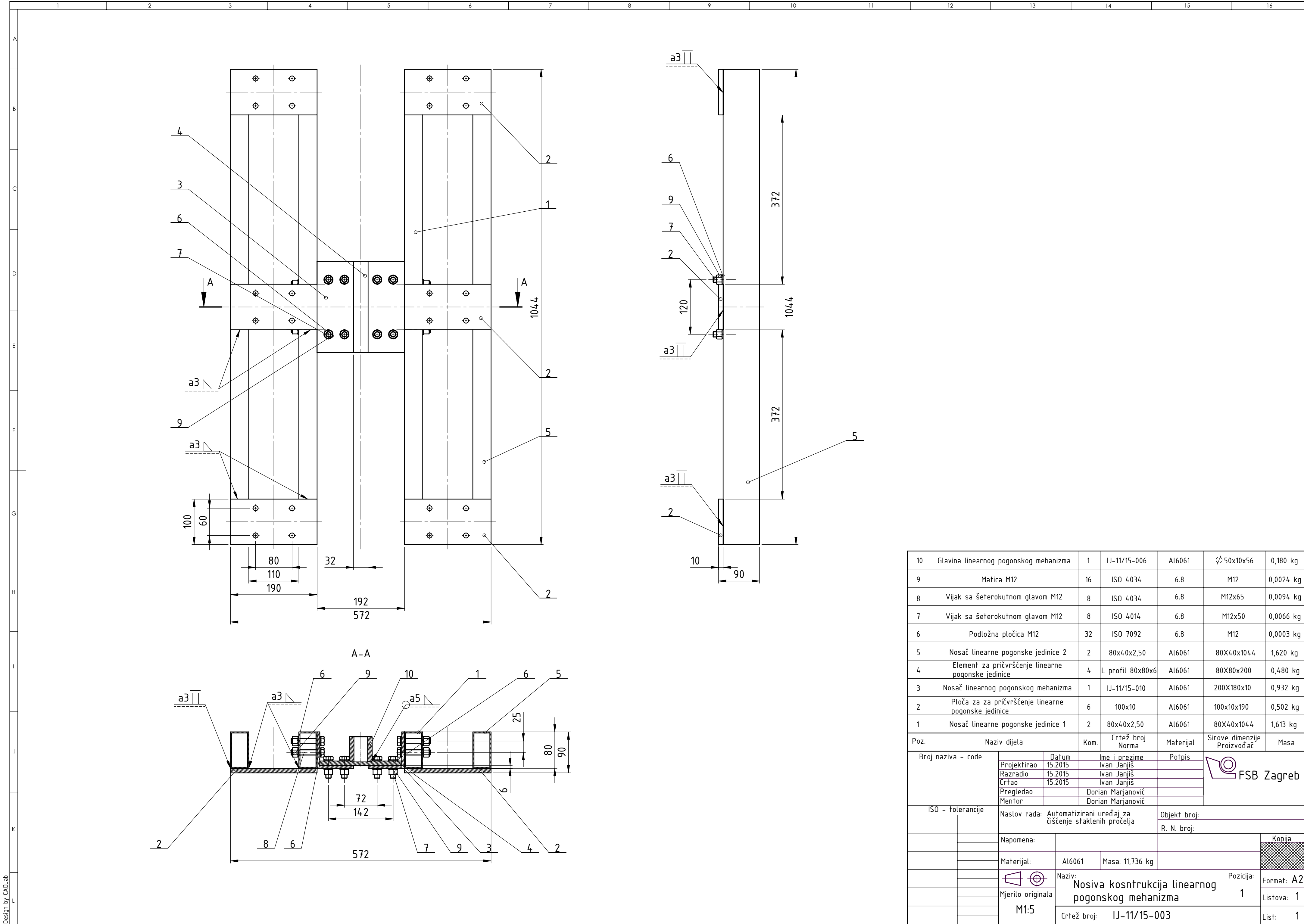
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

| BROJ CRTEŽA | Naziv iz sastavnice |
|--------------|---|
| IJ-11/15-001 | Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja–poklopac zatvoren Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja–poklopac otvoren |
| IJ-11/15-002 | Linearni pogonski mehanizam |
| IJ-11/15-003 | Nosiva konstrukcija linearnog pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-004 | Nosiva konstrukcija |
| IJ-11/15-005 | Vratilo |
| IJ-11/15-006 | Glavina linearnog pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-007 | Glavina vratila |
| IJ-11/15-008 | Glavina elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-009 | Nosač pokretnih vakuumskih hvataljki |
| IJ-11/15-010 | Nosač linearnog pogonskog mehanizma |
| IJ-11/15-011 | Nosiva ploča |
| IJ-11/15-012 | Bočna ploča – vertikalna |
| IJ-11/15-013 | Bočna ploča – horizontalna |
| IJ-11/15-014 | Poklopac |
| IJ-11/15-015 | Nosač horizontalnih nepokretnih vakuumskih hvataljki |
| IJ-11/15-016 | Nosač vertikalnih nepokretnih vakuumskih hvataljki |
| IJ-11/15-017 | Trokutasta ukruta |

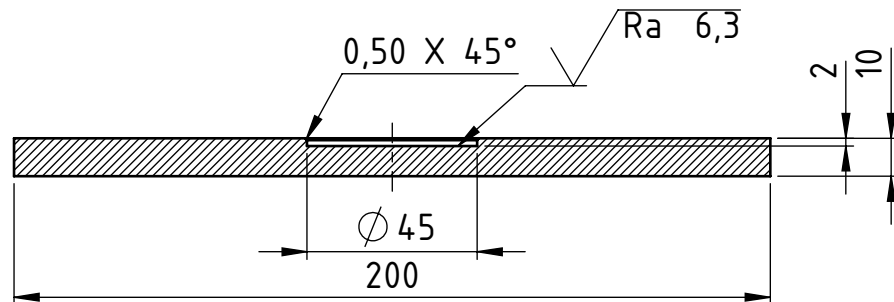
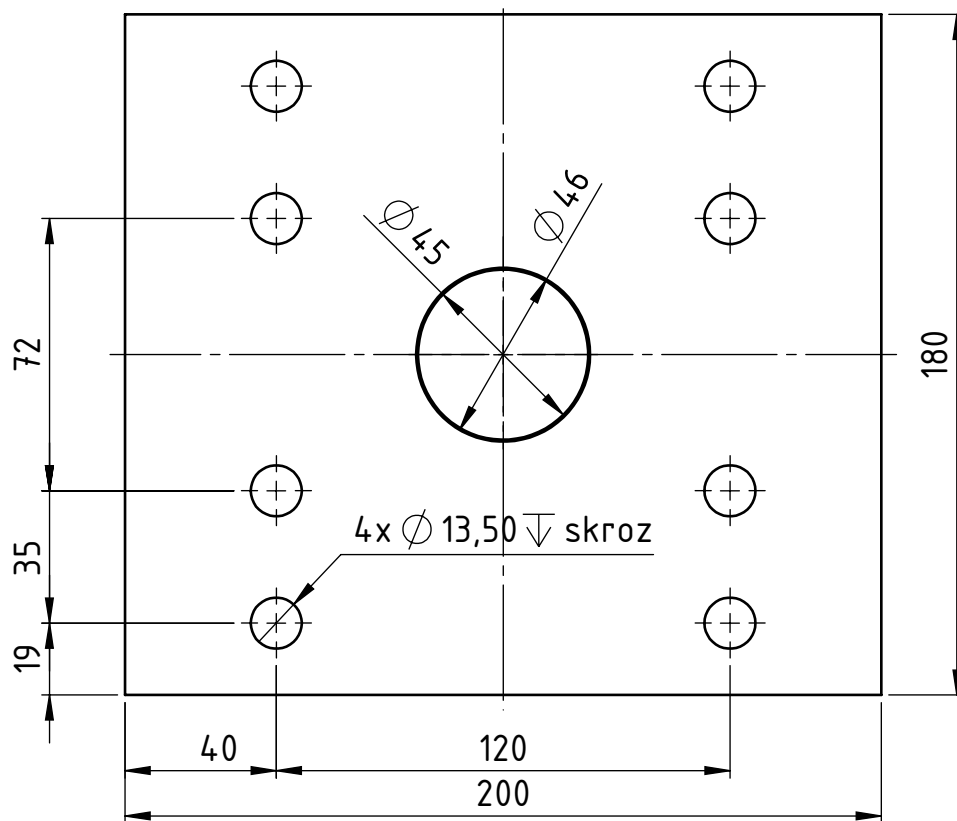




| | | | | | | | |
|-------------------|---|---|--------------------|---|---|-----------------------------|------------|
| 53 | Okasti vijak M8 | 2 | DIN 358 | 6.8 | M8 | 20 kg | |
| 52 | Vijak sa križnom glavom M2 | 12 | ISO 7046-1 | 6.8 | M2x5 | 0,00018 kg | |
| 51 | Vijak sa križnom glavom M4 | 14 | ISO 7046-1 | 4.6 | M4x6 | 0,00026 kg | |
| 50 | Vijak sa križnom glavom M5 | 12 | ISO 7045 | 4.6 | M5x6 | 0,0003 kg | |
| 49 | Podložna pločica M5 | 8 | ISO 7092 | 6.8 | M5 | 0,00012 kg | |
| 48 | Matica M5 | 5 | ISO 4034 | 6.8 | M5 | 0,0005 kg | |
| 47 | Imbus vijak M5 | 2 | ISO 4762 | 6.8 | M5x4.0 | 0,001 kg | |
| 46 | Podložna pločica M6 | 16 | ISO 7092 | 6.8 | M6 | 0,00013 kg | |
| 45 | Matica M6 | 8 | ISO 4034 | 6.8 | M6 | 0,0008 kg | |
| 44 | Vijak sa šesterokutnom glavom M6 | 8 | ISO 4014 | 6.8 | M6x30 | 0,0012 kg | |
| 43 | Vijak sa šesterokutnom glavom M5 | 3 | ISO 4014 | 6.8 | M5x35 | 0,00068 kg | |
| 42 | Podložna pločica M8 | 8 | ISO 7092 | 4.6 | M8 | 0,00016 kg | |
| 41 | Matica M8 | 4 | ISO 4034 | 4.6 | M8 | 0,001 kg | |
| 40 | Vijak sa šesterokutnom glavom M8 | 4 | ISO 4014 | 4.6 | M8x4.0 | 0,0028 kg | |
| 39 | Podložna pločica M10 | 8 | ISO 7092 | 6.8 | M10 | 0,0002 kg | |
| 38 | Matica M10 | 8 | ISO 4034 | 6.8 | M10 | 0,0024 kg | |
| 37 | Imbus vijak M10 | 4 | ISO 4762 | 6.8 | M10x30 | 0,0038 kg | |
| 36 | Imbus vijak M10 | 4 | ISO 4762 | 6.8 | M10x25 | 0,0036 kg | |
| 35 | Podložna pločica M12 | 10 | ISO 7092 | 6.8 | M12 | 0,0003 kg | |
| 34 | Matica M12 | 7 | ISO 4034 | 6.8 | M12 | 0,0029 kg | |
| 33 | Imbus vijak M12 | 4 | ISO 4762 | 6.8 | M12x30 | 0,0058 kg | |
| 32 | Vijak sa šesterokutnom glavom M12 | 3 | ISO 4014 | 6.8 | M12x50 | 0,0066 kg | |
| 31 | Pero 2 | 1 | DIN 6885 | | 6x6x32 | 0,012 kg | |
| 30 | Pero 1 | 2 | DIN 6885 | | 10x8x36 | 0,022 kg | |
| 29 | Sklopka poklopca - prihvati jezička | 2 | 01-50ZMSBL | MS | PROTEX | 0,0299 kg | |
| 28 | Sklopka poklopca - jezičak | 2 | 30-50ZMSBL | MS | PROTEX | 0,0742 kg | |
| 27 | Ručica poklopca | 1 | 94-120AMSBL | MS | PROTEX | 0,0858 kg | |
| 26 | Spojnica poklopca | 2 | BH-076-050-MS | MS | PROTEX | 0,0746 kg | |
| 25 | Poklopac | 1 | IJ-11/15-014 | Denril(POM) | 1600x1600x355 | 10,250 kg | |
| 24 | Senzori udaljenosti | 16 | UM30 | | SICK | 0,150 kg | |
| 23 | Sustav upravljanja | 1 | POZICIJA | | 350x250x100 | 5 kg | |
| 22 | Sustav napajanja pomoću baterija | 1 | WB-LYP700AHA | | 306x627x135 | 20 kg | |
| 21 | Gumeni brisač | 4 | UNGER | PU | Unger | 0,831 kg | |
| 20 | Ventilski blok | 1 | FESTO VTUB | | FESTO | 0,44 kg | |
| 19 | Priključna letva ventila | 1 | FESTO VABM | | FESTO | 0,77 kg | |
| 18 | Vakuum pumpa | 1 | INECO-RV22 | | INECO | 13 kg | |
| 17 | Generator pare | 1 | Cellkraft E-3000 | AlSi303 | 281x471x391 | 20 kg | |
| 16 | Sustav pročišćavanja vode RO | 1 | AAA-245P | X | 270X200x30 | 2,5 kg | |
| 15 | Osigurač spremnika vode | 1 | IJ-11/15-019 | Al6061 | 203x230x3 | 0,254 kg | |
| 14 | Spremnik vode | 1 | T12NA-28C | PEHD | TANKS-DIRECT | 1,3 kg | |
| 13 | Priključak za mlaznicu vodene pare | 10 | G 1/2, G 1/2 | AlSi303 | LECHLER | 0,005 kg | |
| 12 | Mlaznica vodene pare | 10 | 54.0.909.16.CA | AlSi303 | LECHLER | 0,007 kg | |
| 11 | Kompenzator visine vakuumskih hvataljki | 14 | SALSA 330 | AlSi303 | Anver | 0,052 kg | |
| 10 | Horizontalna nepokretna vakumska hvataljka | 6 | FIPA4.70x60 | NBR | FIPA | 0,320 kg | |
| 9 | Vertikalna nepokretna vakumska hvataljka | 8 | Anverflex OC32-150 | PU | Anver | 0,350 kg | |
| 8 | Kućiste sa ležajem | 1 | F11207 | | FAG | 0,831 kg | |
| 7 | Elektromotor za rotaciju pogonskog mehanizma | 1 | BMH1002T | | Schneider | 1,5 kg | |
| 6 | Nosač elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma | 1 | IJ-11/15-018 | Al6061 | 310x150x171 | 0,052 kg | |
| 5 | Glavina elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma | 1 | IJ-11/15-008 | Al6061 | Ø 90x48 | 0,152 kg | |
| 4 | Glavina vratila | 1 | IJ-11/15-007 | Al6061 | Ø 90x60 | 0,298 kg | |
| 3 | Vratilo | 1 | IJ-11/15-005 | S355 | Ø 50x216 | 1,495 kg | |
| 2 | Linearni pogonski mehanizam | 1 | IJ-11/15-002 | | 1213X617x323 | 51,184 kg | |
| 1 | Nosiva konstrukcija | 1 | IJ-11/15-004 | Al6061 | 1600X1600x283 | 42,676 kg | |
| Poz. | Naziv dijela | | Kom. | Crtež broj Norme | Materijal | Sirove dimenzije Proizvođač | Masa |
| ISO – tolerancije | | Datum | Ime i Prezime | | Potpis | | |
| Ø 35H7/k6 | +0.023 -0.018 | Projektirao | 11.2015 | Ivan Janjiš |  | | |
| | | Razradio | 11.2015 | Ivan Janjiš | | | |
| Ø 30H7/r6 | +0.009 -0.050 | Crtao | 11.2015 | Ivan Janjiš | | | |
| | | Pregledao | | Dorian Marjanović | | | |
| Ø 19H7/k6 | +0.019 -0.051 | Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | | |
| 10P9/h9 | -0.015 -0.025 -0.051 | Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | Objekt: | | | |
| 6P9/h9 | -0.021 -0.051 | Napomena: | | R. N. broj: | | | |
| | | Materijal: | | Masa: 187,22 kg | DIPLOMSKI RAD | | Kopija |
| | |  | | Naziv: Automatizirani uređaj za čišćenjestaklenih pročelja-poklopac otvoren | | Pozicija: | Format: A1 |
| | | Mjerilo originala | | | | | Listova: 2 |
| | | M1:5 | | Crtež broj: IJ-11/2015-001 | | List: 2 | |



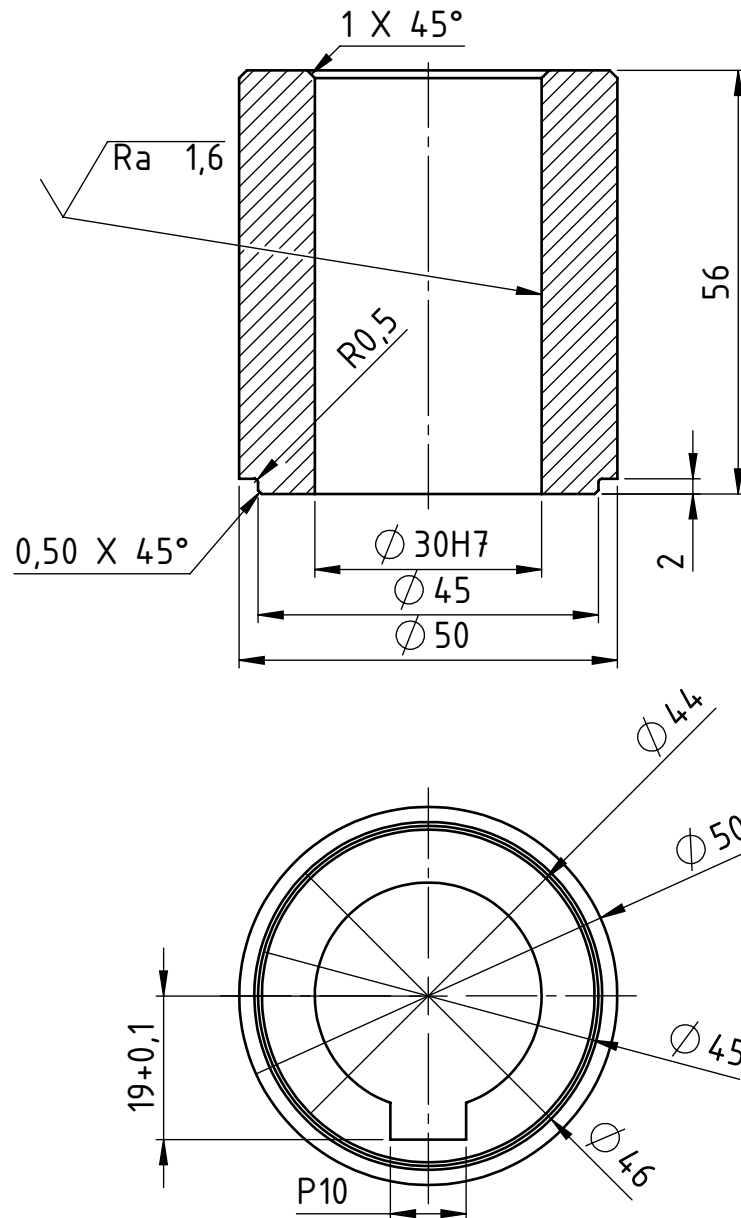



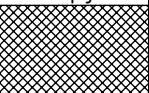
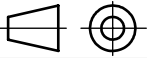
✓ Ra 12,5 (✓ Ra 6,3)

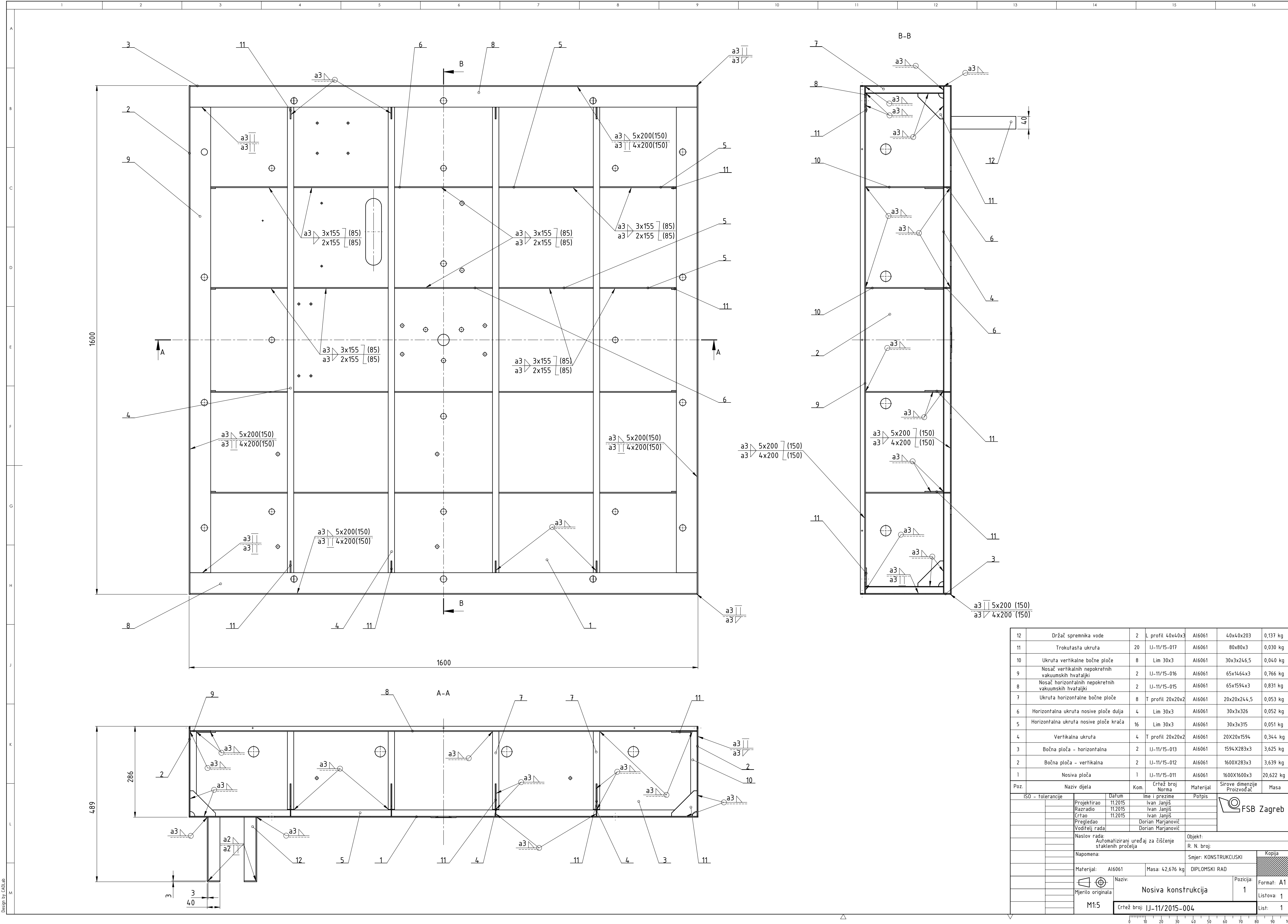


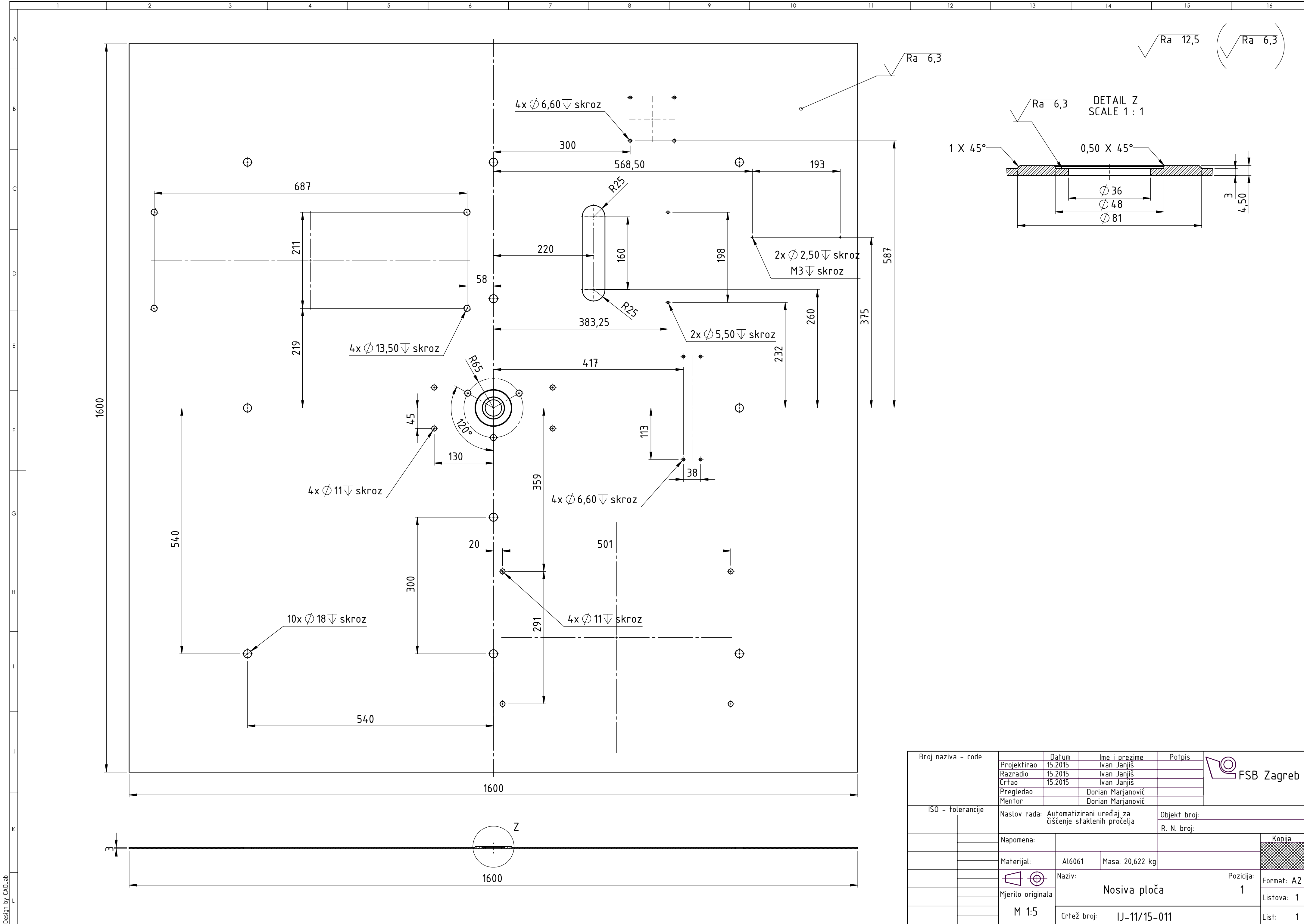
| | | | | | |
|---|--|-------------------|----------------------|--|------------|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | |
| Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Pregledao | | Dorian Marjanović | | | |
| Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | | |
| Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: | | |
| | | | R. N. broj: | | |
| | | | Smjer: KONSTRUKCISKI | Kopija | |
| Materijal: Al6061 | | Masa: 0,932 kg | DIPLOMSKI RAD | | |
|  | Naziv: Nosač linearnog pogonskog mehanizma | | | Pozicija: | Format: A4 |
| | | | | 3 | Listova: 1 |
| Mjerilo originala | Crtež broj: IJ-11/15-010 | | | List: 1 | |
| M1:2 | | | | | |

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ ($\sqrt{Ra\ 1,6}$)

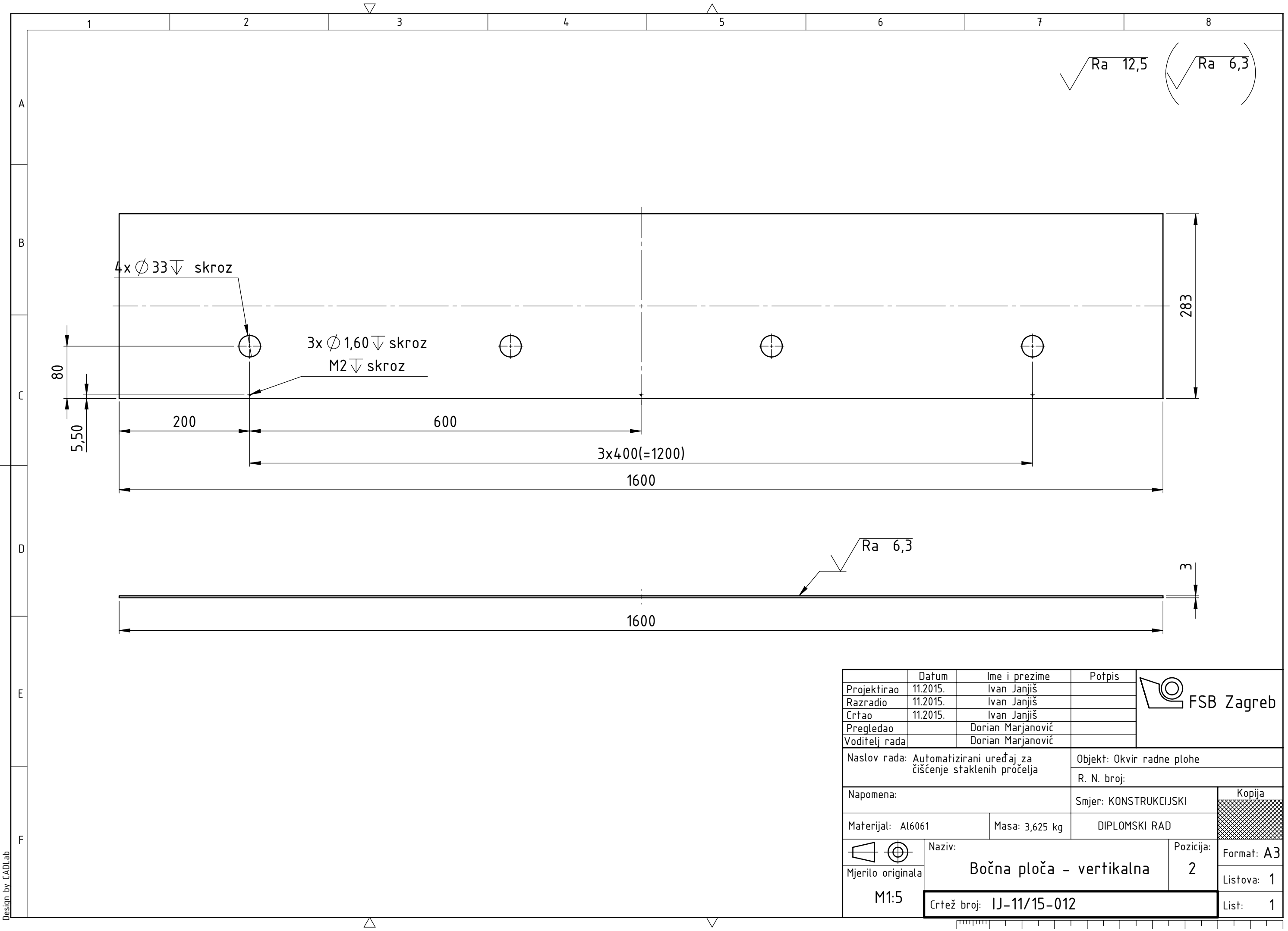



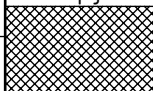
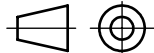
| | | | | | | | | |
|--------------------|------------------|--|--|-------------------|----------------------|--|---|------------|
| Broj naziva - code | | Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | Potpis |  FSB Zagreb | | |
| | | Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | | |
| | | Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | | |
| | | Pregledao | | Dorian Marjanović | | | | |
| | | Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | | | |
| ISO - tolerancije | | Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: | | | |
| Ø 30H7 | + 0,025 0 | | | | R. N. broj: | | | |
| 10P9 | -0,018 -0,061 | | | | Smjer: KONSTRUKCISKI | | Kopija | |
| | | Materijal: Al6061 | | Masa: 0,180 kg | DIPLOMSKI RAD | |  | |
| | |  Mjerilo originala | Naziv: Glavina linearnog pogonskog mehanizma | | | Pozicija: 10 | | Format: A4 |
| | | | | | | | | Listova: 1 |
| | | | | | | | | List: 1 |
| | | M1:1 | Crtež broj: IJ-11/15-006 | | | | | |

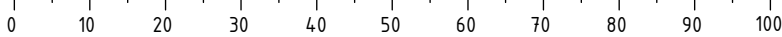


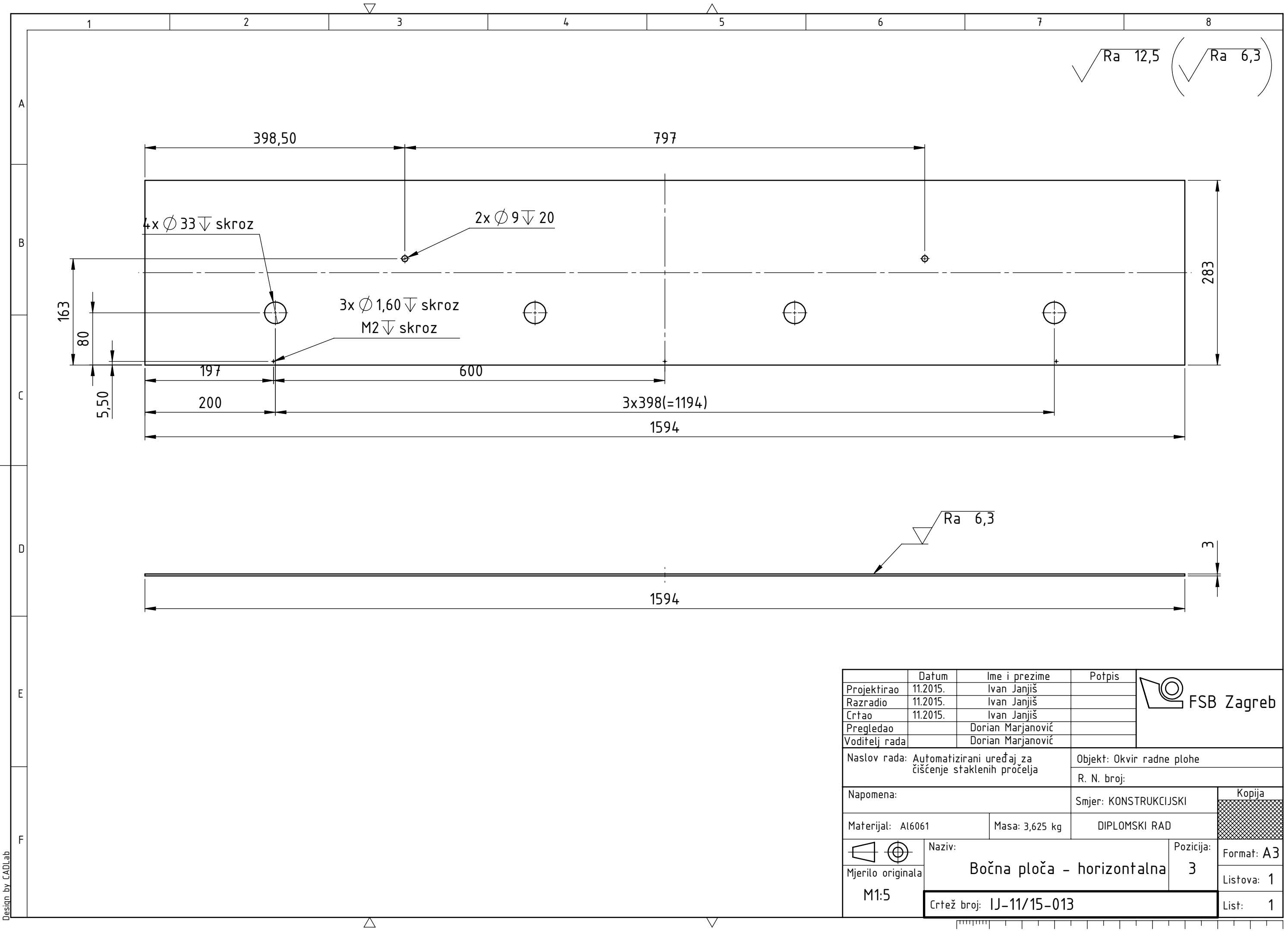



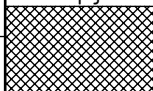
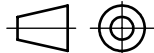
| | | | | | |
|--------------------|-------------|---|-------------------|--------|--------------|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | 15.2015 | Ivan Janjiš | | |
| | Crtao | 15.2015 | Ivan Janjiš | | |
| | Pregledao | | Dorian Marjanović | | |
| | Mentor | | Dorian Marjanović | | |
| ISO - tolerancije | | Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt broj: |
| | | | | | R. N. broj: |
| | | Napomena: | | | Kopija |
| | | Materijal: Al6061 Masa: 20,622 kg | | | |
| | | Naziv: Nosiva ploča | | | Pozicija: 1 |
| | | Mjerilo originala | | | Format: A2 |
| | | M 1:5 | | | Listova: 1 |
| | | Crtež broj: IJ-11/15-011 | | | List: 1 |

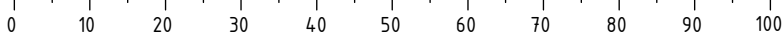


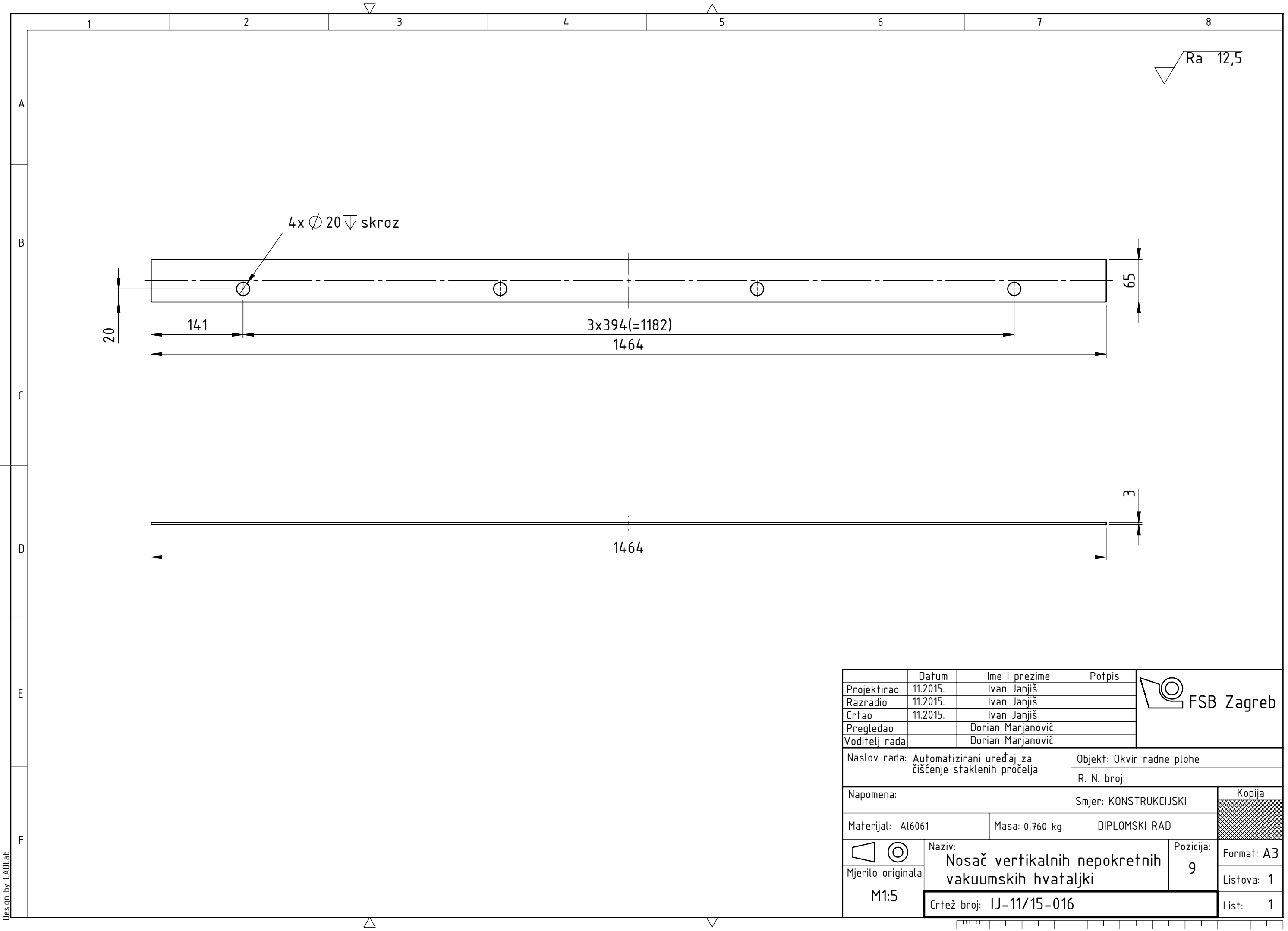
| | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|---------------------------|--|---|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | |
| Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Pregledao | | Dorian Marjanović | | | |
| Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | | |
| Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: Okvir radne plohe | | |
| | | | R. N. broj: | | |
| Napomena: | | | Smjer: KONSTRUKCIJSKI | | Kopija |
| Materijal: Al6061 | | Masa: 3,625 kg | DIPLOMSKI RAD | |  |
|  | Naziv: | | Pozicija: | | |
| | Bočna ploča - vertikalna | | 2 | | |
| Mjerilo originala | Crtež broj: IJ-11/15-012 | | Listova: 1 | | |
| M1:5 | | | List: 1 | | |

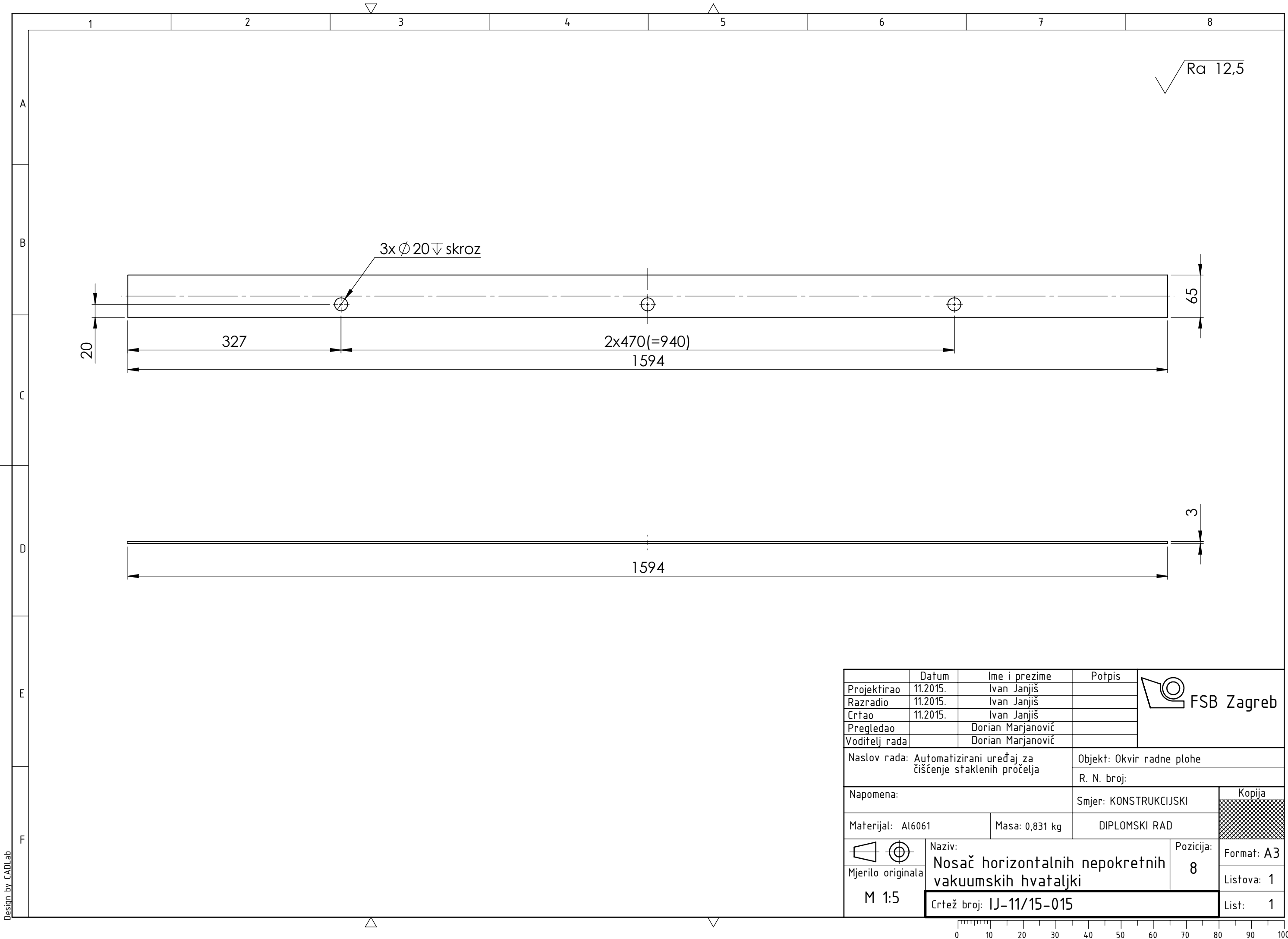




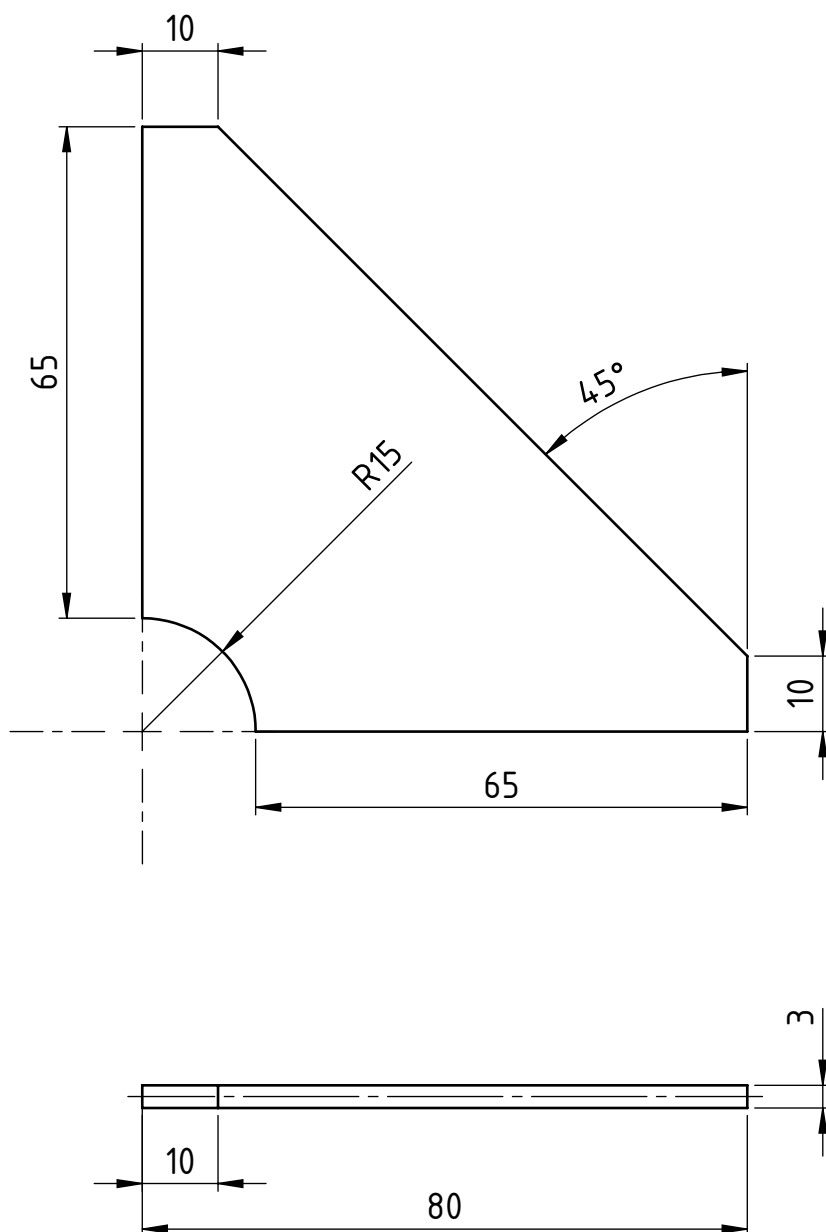
| | | | | | |
|---|----------------------------|-------------------|---------------------------|--|---|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | |
| Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| Pregledao | | Dorian Marjanović | | | |
| Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | | |
| Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: Okvir radne plohe | | |
| | | | R. N. broj: | | |
| Napomena: | | | Smjer: KONSTRUKCIJSKI | | Kopija |
| Materijal: Al6061 | | Masa: 3,625 kg | DIPLOMSKI RAD | |  |
|  | Naziv: | | Pozicija: | | |
| Mjerilo originala | Bočna ploča – horizontalna | | 3 | | |
| M1:5 | Crtež broj: IJ-11/15-013 | | | | |
| | | | Format: A3 | | |
| | | | Listova: 1 | | |
| | | | List: 1 | | |



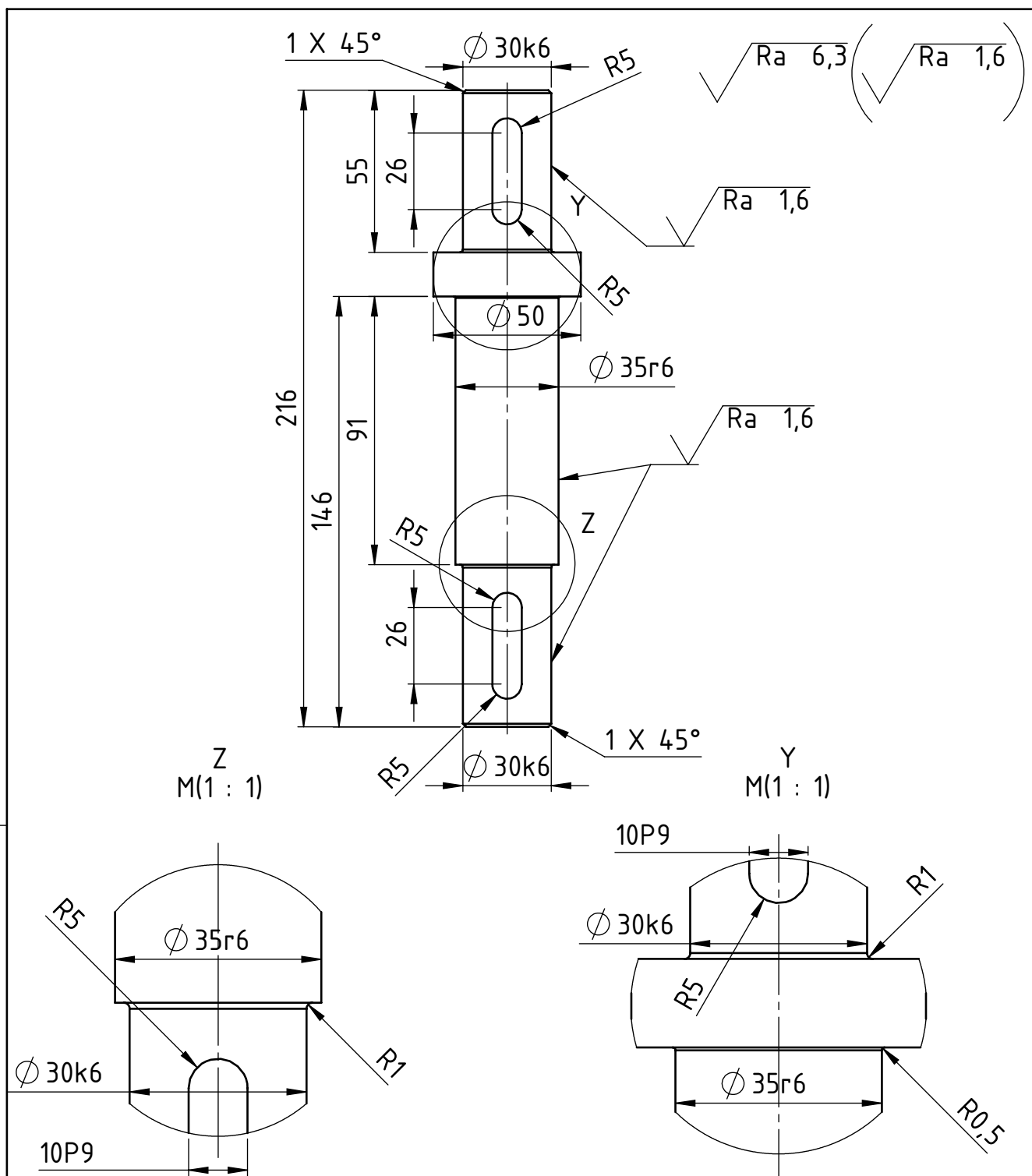



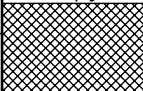
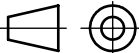


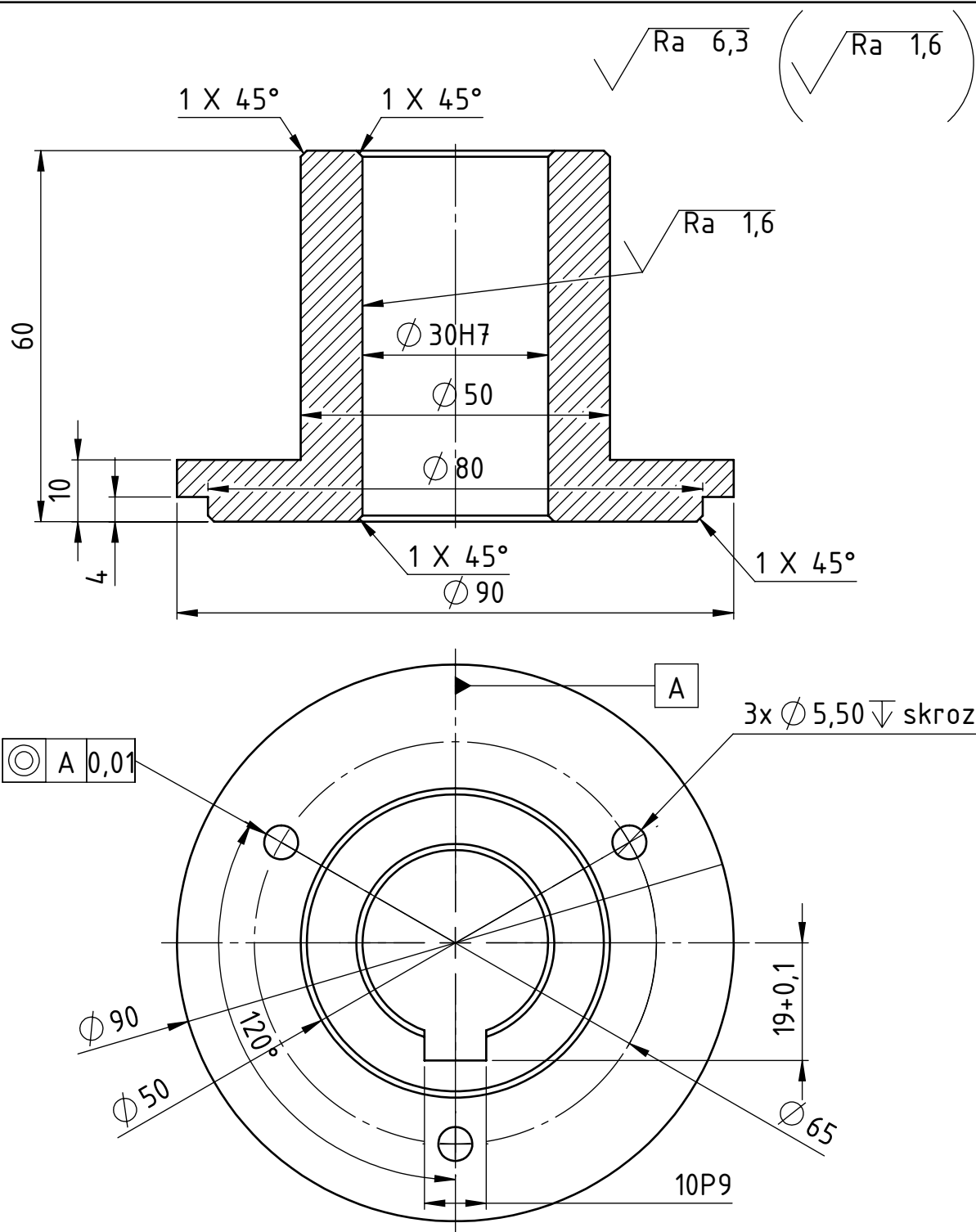
✓ Ra 12,5

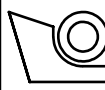
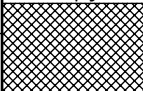
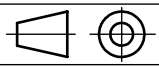


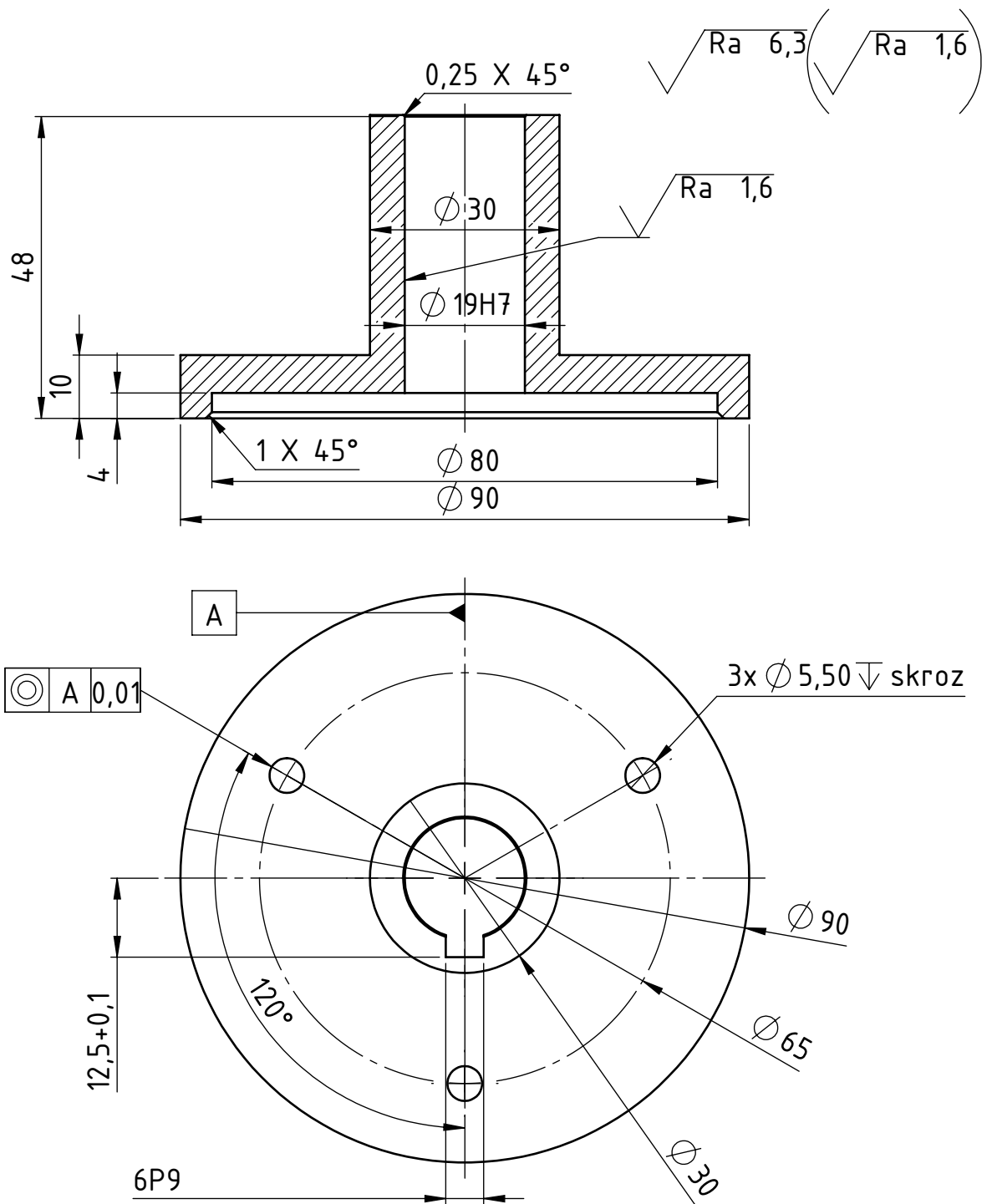
| | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------|----------------------|--|---|------------|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | | |
| Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | | |
| Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | | |
| Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | | |
| Pregledao | | Dorian Marjanović | | | | |
| Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | | | |
| Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: | | | |
| | | | R. N. broj: | | | |
| | | | Smjer: KONSTRUKCISKI | | Kopija | |
| Materijal: Al6061 | | Masa: 0,030 kg | DIPLOMSKI RAD | |  | |
|  Mjerilo originala | Naziv: Trokutasta ukruta | | | Pozicija: | | Format: A4 |
| | | | | 11 | | Listova: 1 |
| M1:1 | Crtež broj: IJ-11/15-0017 | | | | List: 1 | |

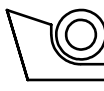


| | | | | | | | |
|--------------------|------------------|--|-----------------------|-------------------|--|--|--------------------|
| Broj naziva - code | | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | | |
| | | Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| | | Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| | | Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | |
| | | Pregledao | | Dorian Marjanović | | | |
| | | Voditelj rada | Dorian Marjanović | | | | |
| ISO - tolerancije | | Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: | | |
| Ø 35r6 | +0,050 +0,034 | | | | R. N. broj: | | |
| | Ø 30k6 | +0,018 +0,002 | Smjer: KONSTRUKCISKI | | Kopija | | |
| 10P9 | | -0,018 -0,061 | | | | | |
| | | Materijal: S355 | Masa: 1,495 kg | DIPLOMSKI RAD |  | | |
| | |  Mjerilo originala M1:2 | Naziv: Vratilo | | | | Pozicija: 3 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | Crtež broj: IJ-11/15-005 | | | List: 1 | | |



| | | | | | | | | |
|--------------------|---------|---|-------------------------------|-------------------|----------------------|--|---|------------|
| Broj naziva - code | | Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | Potpis |  FSB Zagreb | | |
| | | Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | | |
| | | Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | | | |
| | | Pregledao | | Dorian Marjanović | | | | |
| | | Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | | | |
| ISO - tolerancije | | Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: | | | |
| Ø 30H7 | + 0,025 | | | | R. N. broj: | | | |
| | 0 | | | | | | | |
| 10P9 | -0,018 | | | | Smjer: KONSTRUKCISKI | | Kopija | |
| | -0,061 | | | | | |  | |
| | | Materijal: Al6061 | | Masa: 0,298 kg | DIPLOMSKI RAD | | | |
| | |  | Naziv: Glavina vratila | | | Pozicija: 4 | | Format: A4 |
| | | | | | | | | Listova: 1 |
| | | Mjerilo originala M1:1 | Crtež broj: IJ-11/15-007 | | | | | List: 1 |
| | | | | | | | | |



| | | | | | | |
|--------------------|----------------------|---|---------------|-------------------|--|------------|
| Broj naziva - code | | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | |
| | | Projektirao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | |
| | | Razradio | 11.2015. | Ivan Janjiš | | |
| | | Crtao | 11.2015. | Ivan Janjiš | | |
| | | Pregledao | | Dorian Marjanović | | |
| | | Voditelj rada | | Dorian Marjanović | | |
| ISO - tolerancije | | Naslov rada: Automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja | | | Objekt: | |
| $\varnothing 19H7$ | $+0,021$ 0 | | | | R. N. broj: | |
| 6P9 | $-0,015$ $-0,051$ | | | | Smjer: KONSTRUKCISKI | Kopija |
| | | Materijal: Al6061 | | Masa: 0,152 kg | DIPLOMSKI RAD | |
| | | Naziv: Glavina elektromotora za rotaciju pogonskog mehanizma | | | Pozicija: 5 | Format: A4 |
| | | Mjerilo originala: M1:1 | | | | Listova: 1 |
| | | Crtež broj: IJ-11/15-008 | | | | List: 1 |

